

OULUN SEUDUN  
AMMATTIKORKEAKOULU



Pekka Rajaniemi

## **ESISELVITYS POHTOLLE TOTEUTETTAVASTA VOIMALAITOS- SIMULAATTORISTA**

# **ESISELVITYS POHTOLLE TOTEUTETTAVASTA VOIMALAITOS- SIMULAATTORISTA**

Pekka Rajaniemi  
Opinnäytetyö  
Kevät 2013  
Automaatiotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
automaatiotekniikka, insinööri

---

Tekijä(t): Pekka Rajaniemi

Opinnäytetyön nimi: Esiselvitys Pohtolle toteutettavasta voimalaitossimulaattorista

Työn ohjaaja(t): Timo Heikkinen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2013 Sivumäärä: 54 + 3 liitettä

---

Tämä opinnäytetyö käsittää alustavan esiselvityksen Pohtolle hankittavasta voimalaitossimulaattorista. Työn toimeksiantajana toimii Metso Automation Oy. Pohto on Oulussa sijaitseva teollisuuden oppimiskeskus, jolla on voimalaitoskäyttäjän tutkintoon johtava koulutus. Esiselvityksen tarkoituksena on kerätä yhteen pohjatiedot koulutuskäyttöön tulevaa voimalaitossimulaattorihankintaa silmällä pitäen.

Työssä käydään läpi voimalaitoksen toimintaa ja simulaattorikoulutuksen hyötyjä niin kouluttavalle kuin koulutettavalle organisaatiolle. Lisäksi tässä työssä tarkastellaan jo toteutettuja metso-DNA -voimalaitossimulaattoreita. Tutkimusaineisto kerättiin haastatteluissa ja palaverissa, jotka pidettiin tilaajan sekä toimittajan kanssa.

Simulaattori pyritään rakentamaan Toppilan voimalaitossimulaattoria hyödyntäen. Simulaattorissa tullaan käyttämään jo valmiina olevia automaatiomoduuleja ja parhaaksi koettuja teknisiä ratkaisuja. Ongelmana on saada toteutettua mahdollisimman kevyt versio simulaattorista koulutuskäyttöön.

Työn tuloksena saatiin kolme mahdollista toteutustapaa simulaattorille. Ensimmäinen vaihtoehto on tehdä yksinkertainen malli Toppilan voimalaitossimulaattorista ja mallintaa pääsäädot. Toinen vaihtoehto on osittaa Toppilan voimalaitosprosessi. Kolmantena vaihtoehtona on kopioida Toppilan voimalaitossimulaattori suoraan Pohtolle. Vertailun tuloksien pohjalta todettiin, että paras ratkaisu saadaan rakentamalla yksinkertainen malli Toppilan voimalaitossimulaattorista ja sisällyttämällä siihen pääsäädot.

---

Asiasanat:

Simulaattori, voimalaitosautomaatio, koulutus

# ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Automation technique, engineer

---

Author(s): Pekka Rajaniemi

Title of thesis: Preliminary study of power plant simulator for Pohto

Supervisor(s): Timo Heikkinen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2013 Pages: 54 + 3 appendices

---

This thesis is a preliminary study of a power plant simulator that is to be delivered for Pohto. The thesis was commissioned by Metso Automation Oy. Pohto is an industry owned learning center located in Oulu. The main goal of this research was to gather basic information for future power plant simulator.

Theory part of this research consists of description of power plant operations as well as the benefits that simulator training can bring both for the trainers and for those being trained. Secondly, the aim of this thesis was to study the already existing metso-DNA power plant simulators. Research material was gathered mainly by interviewing the subscriber and supplier.

The simulator is will be constructed by utilizing the model and experience of Toppila power plant simulator. Already existing automation modules and best technical solutions will be utilized in this simulator design. Main challenge in the programming project will be how to create a simulator which will be lightweight enough for training purposes.

As a result of this thesis three different ways to implement a power plant simulator for Pohto were discovered. Firstly, one could make a simplified model of Toppila power plant simulator and model only the main controls. Secondly, it is also possible to distribute Toppila power plant process simulation into several separate subprocess simulations. The third method would be to copy Toppila simulator as such. A comparison between these three models showed that the best way to implement a power plant simulator would be make a simplified model of Toppila power plant simulator and include only the main controls into it.

---

Keywords:

Simulator, power plant simulator, training

## ALKULAUSE

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli toteuttaa esiselvitys koulutus- ja kehittä-  
miskeskusalan yritykselle Pohtolle. Työn tilaajana toimi Metso Automation Oy.  
Haluan kiittää koko Metson henkilökuntaa, jolta olen saanut paljon ideoita työn  
suunnitteluun.

Haluan esittää kiitokset asiakaspalvelupäällikkö Kimmo Mehtomaalle, joka antoi  
minulle aiheen tähän mielenkiintoiseen työhön. Haluan kiittää myös ohjaajaani  
Oulun seudun ammattikorkeakoulun lehtoria Timo Heikkistä asiantuntevasta  
työn ohjauksesta.

Suurimmat kiitokset haluan kuitenkin esittää perheelleni opintojeni tukemisesta.

Oulussa 14.1.2013

Pekka Rajaniemi

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	9
2 SÄHKÖN JA LÄMMÖN TUOTANTO SUOMESSA	11
2.1 Voimalaitosten luokittelu	12
2.2 Höyrykiertovoimalaitokset	12
2.3 Lauhdutusvoimalaitokset	13
2.4 CHP eli vastapainevoimalaitokset ja yhteistuotanto	14
3 VOIMALAITOKSEN PÄÄKOMPONENTIT	15
3.1 Kattila	15
3.2 Polttoainejärjestelmä	17
3.3 Palamisilmajärjestelmä	17
3.4 Savukaasujärjestelmä	18
3.5 Syöttövesijärjestelmä	19
3.6 Lauhdejärjestelmä	19
3.7 Höyryjärjestelmä	19
3.8 Turbiini	20
4 VALVOMO	22
4.1 Valvomonäytöt	22
4.2 Prosessikaavionäyttö	22
4.3 Piirinäytöt	23
4.4 Sekvenssinäytöt	23
5 SUUNNITTELUOHJELMAT	25
5.1 FbCAD	25
5.2 SeqCAD	25
5.3 DNAuseEditor	26
6 SIMULAATTORIKOULUTUKSEN HYÖDYT	27
6.1 Prosessisimulaattori	27

6.2 Simulaattorikoulutuksen hyödyt kouluttajalle ja opiskelijalle	28
6.3 Simulaattorikoulutuksen hyödyt kouluttavalle organisaatiolle	29
7 LÄHTÖKOHTA SEKÄ TAUSTA	30
7.1 Esiselvitys	30
7.2 Vaatimukset	30
7.3 Resurssit	31
7.4 Hankkeen kannattavuus	33
8 METSODNA -SIMULAATTORI	34
8.1 MetsoDNA voimalaitossimulaattori	34
8.1.1 Simulaattorin käyttöliittymä	34
8.1.2 Mallintaminen	35
8.1.3 Simulaattorin rakenne	36
8.1.4 Virtuaalisen Metso DNA simulaattorin käyttö	37
8.2 Toppilan voimalaitossimulaattori	40
9 HANKINNAN VERTAILU- JA VALINTAPERUSTEET	42
9.1 Vaihtoehto 1	42
9.2 Vaihtoehto 2	44
9.3 Vaihtoehto 3	44
9.4 Hankintaan liittyvät ongelmat ja riskit	47
10 POHDINTA	48
LÄHTEET	52

Liite 1 Näyttökuvat

Liite 2 Erikseen määritetyt häiriöt

Liite 3 Toppila 2 häiriö-harjoituksia

## SANASTO

CHP	Combined heat and power, yhdistetty lämmön- ja sähköntuotanto
DCS	Distributed control system, hajautettu automaatiojärjestelmä
DNAUSE	Kuvasuunnittelutyökalu
EAS	Suunnittelu- ja ylläpitoasema
FBCAD	Function block computer aided design, piirikaavioiden suunnittelu-työkalu
GDCAD	Graphic display computer aided design, graafisten näyttöjen suunnittelutyökalu
I/O	Tulo- ja lähtöliitännät
METSODNA	Metson automaatiojärjestelmän tuotenimi, Dynamic Network of Applications
OPS	Operointiasema
POHTO	Valtakunnallinen elinkeinoelämän oppilaitos
RDP	Remote Desktop Protocol, protokolla tietokoneen graafisen käyttöliittymän etäkäyttöön
SEQCAD	Sequence computer aided design, sekvenssipiirien suunnittelutyökalu
VNC	Virtual Network Computing, protokolla tietokoneen graafiseen käyttöliittymän etäkäyttöön
VPN	Virtual Private Network, Virtuaalinen erillisverkko



# 1 JOHDANTO

Kasvava energian tarve ja samalla päästökauppa asettavat rajoitteita Suomen energiateollisuudelle. Energian kulutuksella ja käytöllä on haitallisia vaikutuksia ympäröivään luontoomme. Nämä seikat tuovat haasteita Suomen energiamarkkinoille. Energiateollisuus on näin ollen kansakunnallemme strategisesti merkittävä osa-alue.

Automaatio on ollut merkittävässä asemassa voimalaitoksissa kautta-aikojen: sen kehittyminen ja uusien toimintatapojen käyttöönotto on tehostanut voimalaitosten toimintaa ja vähentänyt päästöjä. Voimalaitosten päähermokeskus sijaitsee valvomossa operaattorityöasemalla, josta operaattorit antavat käskyt sekä ohjaustoimenpiteet prosessille. Valvomoissa on graafisia näyttöjä ja suurkuvanäyttöjä, jotka antavat operaattorille ikkunan suoraan prosessiin. Operaattoreilla on suuri vastuu voimalaitoksen tuotannosta ja operaattoreiden kouluttaminen onkin ensisijaisen tärkeää. Usein kouluttaminen tapahtuu simulaattoreiden avulla, joilla voidaan mallintaa reaaliaikailmaan pohjautuvia tapahtumia. Simulaattoreilla voidaan harjoitella esimerkiksi vaaratilanteita, joita oikeassa prosessissa voisi tulla vastaan.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä esiselvitys hankittavasta voimalaitossimulaattorista koulutus- ja kehittämiskeskusalan yritykselle Pohtolle. Esiselvitys on arvokas väline organisaatiolle päätöksenteossa – sen pohjalta on mahdollista valita paras toteutustapa voimalaitossimulaattorille Pohton vaatimuksia silmälläpitäen. Lopullinen simulaattorin hinta riippuu toteutuksen laajuudesta, koska suurin työ on prosessimoduulien tekemisessä. Pohtolle hankittavassa simulaattorisatullaan käyttämään jo olemassa olevien laitosten DCS-sovellusta, jolloin kaikkea ei tarvitse tehdä alusta saakka.

Työ sai alkunsa, kun Metso oli toimittamassa voimalaitossimulaattoria Oulussa sijaitsevalle Pohtolle. Mallina toimi Toppilan voimalaitokselle vuonna 2006 hankittu voimalaitossimulaattori, josta haluttiin kehittää oppilaskäyttöön sopiva versio. Metso on toimittanut simulaattoreita vuodesta 1999, jolloin se toteutti ensimmäisen voimalaitossimulaattorinsa Fortumille. Vuosina 2011–2012 Metso toimitti viimeisimmän CHP-voimalaitossimulaattorin Fortum Naantaliin.

Metso on kansainvälinen teknologia- ja palvelutoimittaja prosessiteollisuuden asiakkailleen kivi-, maanrakennus-, massa ja paperi-, voimalaitostuotanto- sekä öljy- ja kaasualalla. Metso Oyj syntyi, kun Valmet Oyj ja Rauma Oyj sulautuivat vuonna 1999. Metso Oyj työllistää yli 30 000 henkilöä yli 50 eri maassa. (Metso 2012.)

Metso Automation suunnittelee, kehittää ja toimittaa prosessiteollisuuden automaation ja tiedonhallinnan sovellusverkkoja ja järjestelmiä, älykkäitä kenttäseäätöratkaisuja sekä prosessien elinkaaren kattavia asiantuntija- ja huoltopalveluja. (Metso 2012.)

Pohto on valtakunnallinen elinkeinoelämän omistama oppilaitos. Pohtolla on järjestetty yritysten ja organisaatioiden koulutusta jo yli 35 vuoden ajan. Oulussa, Tampereella ja Vantaalla sijaitsevista toimipisteistä työskentelee 40 koulutuksen ja kehittämisen työntekijää. Yhteistyöverkossa toimii 600 eri alojen asiantuntijaa, opiskelijoita on 7000 vuosittain. Pohto on järjestänyt näyttötutkintoja vuodesta 1996 lähtien ja tutkintotodistuksen on saanut yli 1700 henkilöä. (POHTO 2012.)

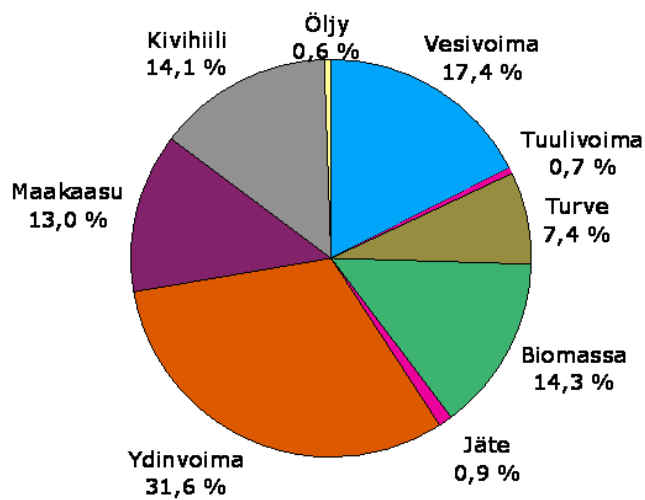
Voimalaitoksen käyttäjän ammattitutkinto on tarkoitettu ensisijaisesti henkilöille, joilla on jo alan työkokemusta. Kyseisessä tutkinnossa osoitetaan voimalaitoksen käyttäjältä vaadittava itsenäisen ja ryhmätyöskentelyn edellyttämä ammattitaito. Tutkinnon suorittaneella on valmiudet toimia energiatuotantolaitosten käyttö- ja esimiestehtävissä. (Opetushallitus 2012.)

## 2 SÄHKÖN JA LÄMMÖN TUOTANTO SUOMESSA

Sähköä tuotetaan Suomessa monipuolisesti usealla eri energianlähteellä ja tuotantomuodolla. Tärkeimmät sähkön tuotannon energialähteet ovat ydinvoima, vesivoima, kivihiili, maakaasu, puupolttoaineet sekä turve. Tuulivoiman osuus on pieni, mutta kasvussa. Vesivoiman ja sitä kautta fossiilisten polttoaineiden, lähinnä hiilen, osuus sähköntuotannosta vaihtelee reilusti sen mukaan, miten paljon pohjoismaisilla markkinoilla on tarjolla vesivoimaa Norjasta ja Ruotsista (kuva 1). (Energiateollisuus 2011.)

Suomessa on noin 120 sähköä tuottavaa yritystä ja noin 400 voimalaitosta, joista yli puolet on vesivoimalaitoksia. Maamme sähköntuotanto on moneen muuhun Euroopan maahan nähden varsin hajautettua. Monipuolinen ja hajautettu sähkön tuotantorakenne lisää sähkön hankinnan varmuutta. (Energiateollisuus 2011.)

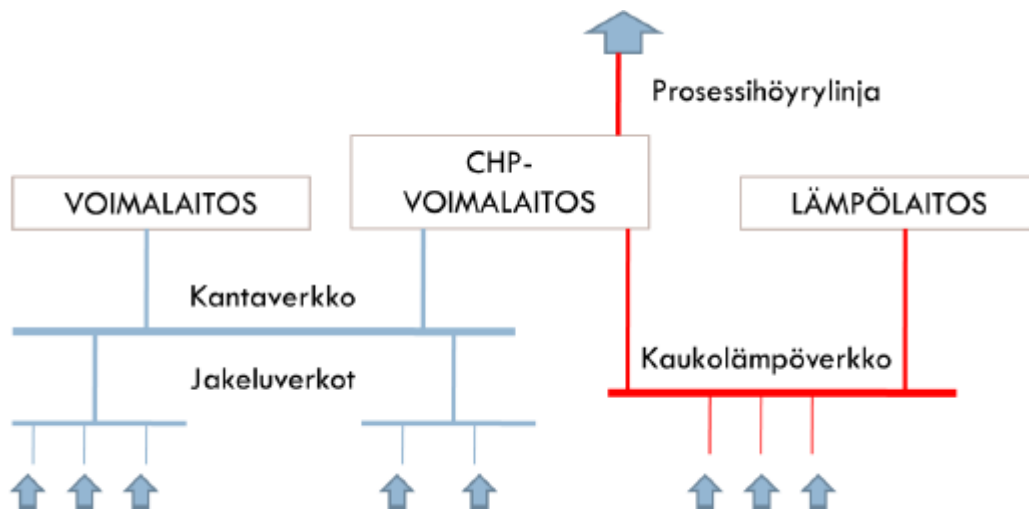
Sähköstä lähes kolmannes tuotetaan yhteistuotantona lämmöntuotannon yhteydessä, jolloin polttoaineen energiasisältö käytetään mahdollisimman tarkkaan hyödyksi. Yhteistuotantolaitoksilla 90 % polttoaineen energiasta saadaan muutettua sähköksi ja lämmöksi (kuva 1). (Energiateollisuus 2011.)



KUVA 1. Sähköntuotanto energialähteittäin vuonna 2011 (Energiateollisuus 2011)

## 2.1 Voimalaitosten luokittelu

Voimalaitoksia voidaan luokitella väliaineeseen perustuen: höyrykierto-, kaasukierto- sekä kombi-voimalaitokset. Toinen tapa luokitella on tuotettavaan energiaan perustuen: sähköntuotanto-, lämpövoima- sekä yhteistuotantolaitokset (CHP). Yhteistuotantolaitoksessa tuotetaan samanaikaisesti kahta eri tuotetta. Kuvassa 2 on esitelty energian jakelu ja voimalaitokset.

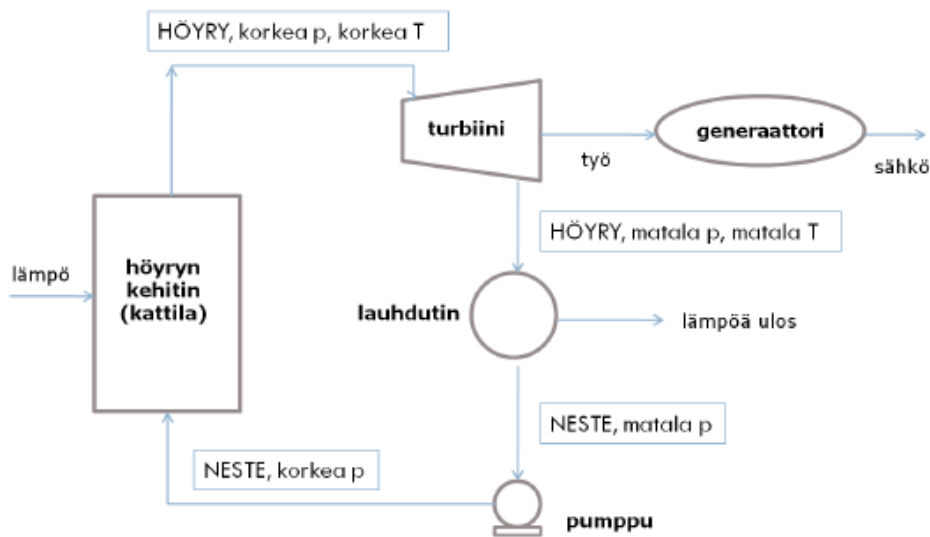


KUVA 2. Energian jakelu ja voimalaitokset (Lohiniva, 2011– 2012, 31)

## 2.2 Höyrykiertovoimalaitokset

Nykyään suurin osa sähköntuotannosta tuotetaan höyryvoimalaitoksissa. Höyryvoimalaitosten toiminta perustuu veden ja vesihöyryn kiertoprosessiin. Kuvassa 3 on höyryvoimalaitoksen perusrakenne. (Lohiniva, 2011- 2012, 32).

Höyrykiertovoimalaitoksen kattilassa höyryä ohjataan korkeassa paineessa ja lämpötilassa turbiinille. Turbiinin jälkeen höyry ohjataan lauhduttimelle matalassa paineessa ja lämpötilassa. Lauhduttimelta saadaan kierrosta lämpöä ulos. Lauhduttimesta kierto jatkuu nesteinä matalassa paineessa. Pumpulla neste ohjataan takaisin kattilaan korkeassa paineessa. (Lohiniva, 2011– 2012, 32.)



KUVA 3. Höyryvoimalaitoksen perusrakenne (Lohiniva, 2011–2012, 32)

## 2.3 Lauhdutusvoimalaitokset

Lauhdutusvoimalaitos on voimalaitos, jossa tuotetaan sähköenergiaa polttoainetta polttamalla. Usein lauhdevoimalaitokset ovat suuria halpaa polttoainetta polttavia niin kutsuttuja peruskuormalaitoksia. Myös ydinvoimalaitoksia kutsutaan lauhdevoimalaitoksiksi, mutta tavallisesti ne erotetaan polttoainetta polttavista voimaloista. (Hiilitieto 2012.)

Oulussa sijaitseva Toppila 2 voimalaitos on väliottolauhdutusvoimalaitos, joka valmistui vuonna 1995. Toppila 2 tuottaa sähköä ja kaukolämpöä. Laitoksen polttoaineteho on 315 megawattia. Sähkön tuottamisesta syntyvä lämpö otetaan talteen ja sitä käytetään kaukolämpöverkostossa veden lämmittämiseen. Toppilassa poltetaan puuta ja turvetta kesäaikaan noin 70 rekkakuormaa päivässä, talvella määrä voi nousta 140 rekkakuormaan. Polttoaineen käyttö vuonna 2002 oli noin 1 210 000 t turvetta ja puun osuus noin 187 000 t. Tällä hetkellä polttoaineesta 25 % on metsähaketta (Oulun Energia 2012). Toppilan voimalaitokselle vuonna 2006 hankittu voimalaitossimulaattori kuvaa Toppila 2 -prosessia täydellisesti.

## **2.4 CHP eli vastapainevoimalaitokset ja yhteistuotanto**

Vastapainevoimalaitos on sähkön sekä lämmön yhteistuotantolaitos eli CHP-tuotantolaitos. Voimalaitosta ei yleensä optimoida maksimaaliseen sähköntuotantoon. Osa kattilaan syötetystä energiasta hyödynnetään prosessihöyrynä tai kaukolämpönä. Tämän avulla laitoksen kokonaisyötysuhde yltää 90 %: iin. Hyötysuhde on jopa kaksinkertainen lauhdutusvoimalaitoksiin verrattuna. Esimerkkinä vastapaine voimalaitoksesta on Toppila 1, joka on valmistunut vuonna 1977. (Hiilitieto 2012.) Polttotekniikka on nykyaikainen leijukerros poltto, joka tuottaa 267 megawattia energiaa. Leijukerros poltossa palaminen tapahtuu fluidisoidussa hiekkapetissä. Polttotapa sopii erityisesti matalalämpöarvoisten polttoaineiden polttoon, koska hiekkapetiin on sitoutunut suuri lämpömäärä. Tämä varmistaa huonolaatuisenkin polttoaineen syttymisen ja palamisen. (Joronen–Kovács–Majanne 2007, 39.)

### **3 VOIMALAITOKSEN PÄÄKOMONENTIT**

Seuraavissa luvuissa on esitelty voimalaitoksen tärkeimmät pääkomponentit. Voimalaitoksen pääkomponentit -luvun avulla lukija hahmottaa kokonaiskuvan voimalaitoksesta ja sen monista osa-alueista.

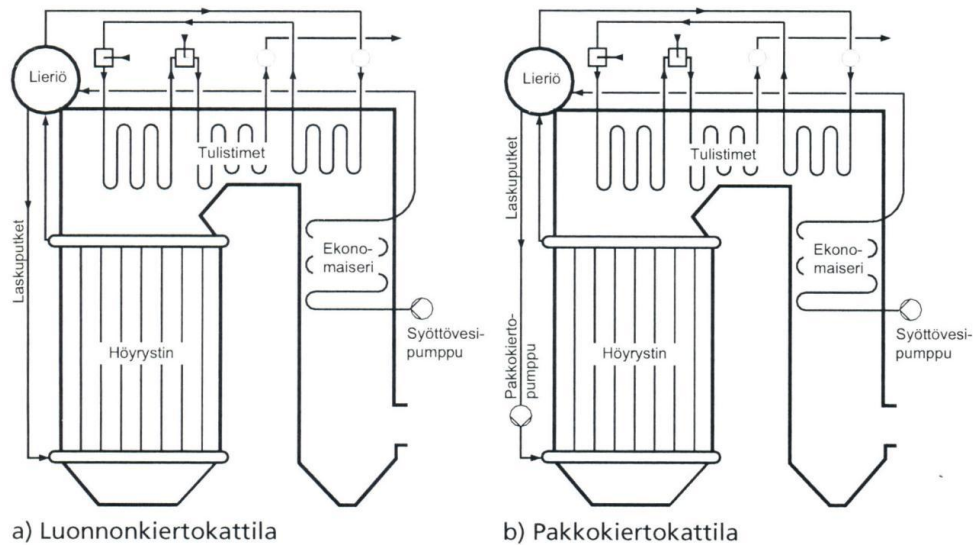
#### **3.1 Kattila**

Kattilatyypin määrittää pitkälti voimalaitoksen rakenteen. Kattila vaikuttaa olennaisesti voimalaitoksen päästöjen syntyyn sekä saatavaan hyötysuhteeseen. Seuraavassa esitellään tärkeimmät kattilatyypit ja niiden ominaispiirteet.

##### **Lieriökattila**

Lieriökattiloita pidetään yleisimpinä höyrykattilatyyppeinä. Kattilatyyppejä voidaan käyttää eri polttoaineilla 17 MPa:n paineisiin. Päätehtävä lieriöllä on erottaa vesi ja höyry toisistaan. Lisäksi lieriön pohjalta voidaan puhalttaa pieni osa vedestä ulos, millä saadaan poistettua kerääntyneet epäpuhtaudet. (Joronen ym. 2007, 37.)

Kuvassa 4 on esitelty lieriökattilatyypit, joita ovat luonnonkiertokattila sekä pakkokiertokattila. Erona näillä kahdella kattilatyypillä on, että luonnonkiertokattilassa lieriöltä tapahtuva höyrytyskierto tapahtuu omalla painovoimallaan, kun taas pakkokiertokattilassa tätä toimenpidettä nopeutetaan putkistoon sijoitettavalla pumpulla. (Lohiniva, 2011- 2012, 41.)



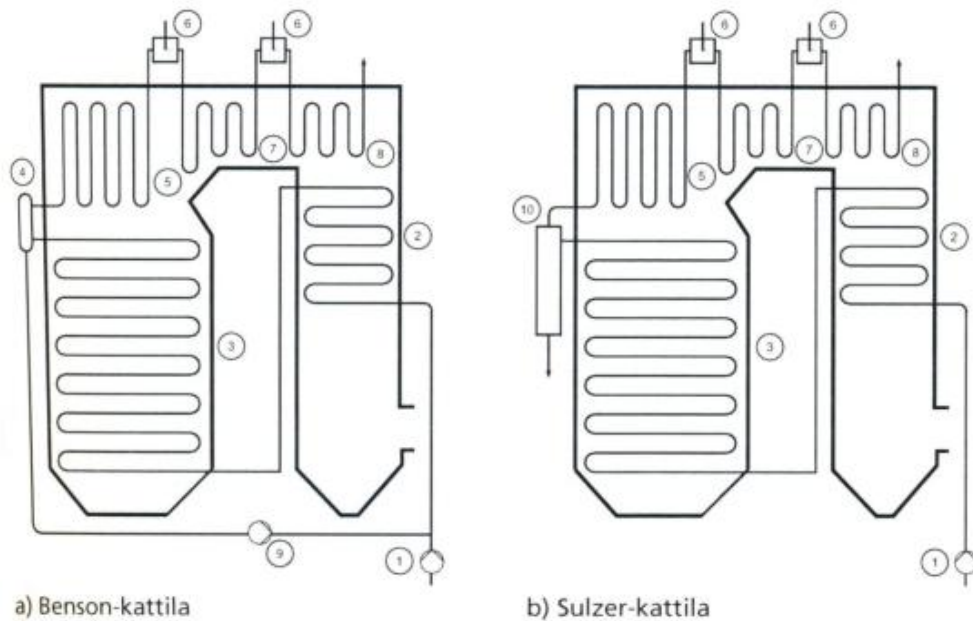
KUVA 4. Lieriökattilat (Lohiniva, 2011–2012, 41)

### Läpivirtauskattilat

Läpivirtauskattilat poikkeavat lieriökattiloista siten, että niiltä puuttuu kokonaan lieriö. Kattilatyypit on kehitetty erityisesti suuria kattilalaitoksia varten. Näissä kattilatyypeissä vesihöyrykierto muodostaa yhtenäisen läpikulun, johon ei muodostu sisäisiä kiertoja. Virtauksen hallinta putkistossa on vaativaa ja vaarana on ylikuumeneminen ja kattilavauriot. (Joronen ym. 2007, 37.)

Kuvassa 5 on esitelty läpivirtauskattilatyypit Benson-kattila sekä Sulzer-kattila. Kattilatyypit eroavat toisistaan siten, että Benson-kattilassa ei ole kiinteää veden ja höyryn rajapintaa, vaan se muuttuu kattilan kuormituksen mukaan. Benson-kattilassa käynnistyksen yhteydessä käytetään käynnistyspulloa, jossa vesi ja höyry erotetaan toisistaan. Sulzer-kattilassa veden ja höyryn rajapinta pidetään jatkuvasti vedenerotuspullon kohdalla, josta höyry johdetaan tulistimeen. (Joronen ym. 2007, 37.)





Kuva 9. Lämpivirtauskattilat. Kuvan merkinnät: 1) syöttövesipumppu, 2) ekonomaiseri, 3) höyrystin, 4) käynnistuspullo, 5) säteilytulistin, 6) höyryn jäähdytys, 7) tulistin II (konvektio), 8) tulistin III (konvektio), 9) käynnistuspumppu 10) vedenerotuspullo.

KUVA 5. Lämpivirtauskattilat (Lohiniva, 2011–2012, 42)

### 3.2 Polttoainejärjestelmä

Kiinteän polttoaineen kattilalaitoksissa polttoainejärjestelmä toteutetaan erillisjärjestelmänä. Järjestelmä koostuu vastaanottoasemasta, polttoaineenseulonnasta, karkean jakeen murskauksesta, kolakuljettimista, polttoainesiloista, purkaimista sekä raskaan öljyn lämmityksessä käytettävästä lämmönsiirtimestä. Kuljettimet ovat koko ajan alttiina kulutuksella ja korroosiolle. Tämän vuoksi vastaanottokeiju usein kahdennetaan polttoainesiloista kattilaan. (Joronen ym. 2007, 44.)

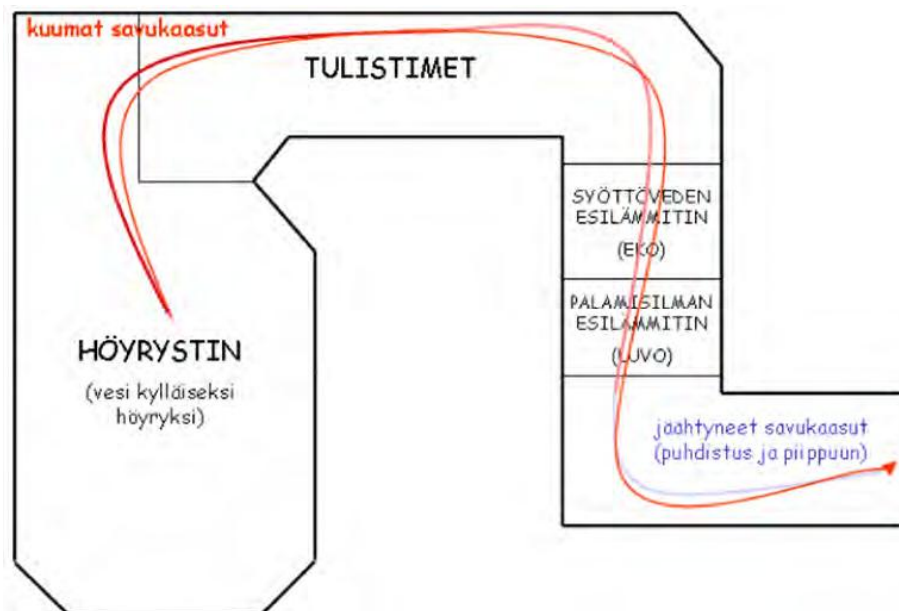
### 3.3 Palamisilmajärjestelmä

Palamisilmajärjestelmä koostuu lähinnä kanavistoista, puhaltimista ja esilämmittimistä. Jotta palamisprosessi olisi hallittavissa, ilma tuodaan kattilaan useammassa vaiheessa primääri- ja sekundääri-ilmoina. Nämä tuottavat tarvittavan paineen ilmavirtausten aikaansaamiseksi. Kuitenkin varsinainen palamisilmojen esilämmitys tehdään savukaasuesilämmittimellä. Useasti kattiloissa on myös höyrytoiminen palamisilman esilämmitin eli ekonomaiseri, jolla estetään savukaasujen liiallinen jäähtyminen. Ekonomaiseri sijaitsee kattilan savukaasukanavassa tulistimien jälkeen

savukaasun virtaussuuntaan nähden. Ottamalla savukaasuista jäljellä olevaa energiaa saadaan höyrykattilaprosessin hyötysuhdetta nostettua. Savukaasujen lämpötilan pudotessa alle rikkihapon kastepisteen voi aiheutua hapon kondensoitumista kanavistoon ja korroosiota. (Joronen ym. 2007, 44.)

### 3.4 Savukaasujärjestelmä

Savukaasujärjestelmän tehtävä on poistaa savukaasut kattilasta sekä puhdistaa ne kiintoaineesta ja typen ja rikin oksideista säännösten edellyttämälle tasolle. Poistaminen suoritetaan siten, että poistuvan kaasun matkassa vapautuisi mahdollisimman vähän lämpöenergiaa ja päästöjä. Savukaasut poistetaan imemällä ne tulipesästä savukaasupuhaltimilla. Tämän jälkeen savukaasut ohjataan piipun kautta ympäristöön. Piipun pääasiallinen tehtävä on siinä syntyvän vedon avulla helpottaa savukaasupuhaltimien toimintaa sekä levittää savukaasut laajalle, jotta päästöt tehtaan ympäristössä eivät ylittyisi. Syntyvien savukaasujen määrä on pitkälti riippuvainen käytetyn polttoaineen laadusta ja määrästä. Kuvassa 6 on esitetty höyrykattilan toimintaperiaate ja savukaasujen poistuminen kattilasta. (Joronen ym. 2007, 44- 45.)



KUVA 6. Höyrykattilan toimintaperiaate ja savukaasujen poisto kattilasta (KnowPulp 2012)

### **3.5 Syöttövesijärjestelmä**

Syöttövesijärjestelmällä tarkoitetaan syöttövesisäiliön, syöttövesipumpun ja putkiston muodostamaa kokonaisuutta. Syöttövesisäiliö toimii syöttövesivarastona, joka poistaa kaasut lisävedestä ja lauhteesta sekä toimii kuormantasauskomponenttina. Syöttövesipumpun tehtävä on nostaa syöttöveden paine kattilan paineeseen. (Joronen ym. 2007, 45.)

Kattilaveden on oltava puhdasta, ja näin ollen se onkin jatkuvan tarkkailun alla. Tärkeimmät mitattavat suureet vedestä ovat sen pH, sähkönjohtokyky sekä hapen mittausta. Kattilaveteen lisätään eri kemikaaleja ja ne annostellaan syöttövesisäiliöön. Kattilaveden kiertoa kutsutaan suljetuksi kierroksi. Lämmönvaihtimista laude palautuu syöttövesisäiliöön, josta se pumpataan syöttövesipumpuilla kattilaan. Yleensä prosessi vaatii jatkuvasti lisävetä. Lisäveden tarvetta aiheuttavat höyrynuohoimet sekä lieriökattiloissa jatkuva ulospuhallus, joka poistaa kattilavedestä silikaattisuoloja. Kattilavesi syötetään syöttövesipumpuilla kattilaan syöttövesisäiliöstä. Tämän jälkeen syöttövesi johdetaan kattilan yläosassa sijaitsevaan lieriöön ja siitä edelleen laskuputkia pitkin kattilan alaosassa sijaitsevaan jakotukkiin. Veden edelleen lämmitessä kattilassa lämmennyt kylläinen höyry ja vesi nousevat takaisin lieriöön. Lieriössä veden ja höyryn erotus tapahtuu painovoiman avulla. Lieriön yläosasta höyry jatkaa matkaansa tulistimille. Tulistettu höyry johdetaan turbiiniin ja turbiinin välitosta lämmönvaihtimeen, jolla lämmitetään kaukolämpöverkkoa.

### **3.6 Lauhdejärjestelmä**

Lauhdevoimalaitoksissa pääosa lauhteesta syntyy lauhduttimessa, josta se johdetaan lauhtesäiliöön. Kaukolämpölaitoksissa höyryn lauhdutus toteutetaan kaukolämmönvaihtimilla, joissa lämpö siirretään matalapainehöyrystä kaukolämpövedeen. Mikäli laitokselta lähtee tehtaille prosessihöyryä, sieltä palaavien lauhteiden puhtautta seurataan ja lauhteet voidaan puhdistaa suotimilla ja kationivaihtimilla. (Joronen ym. 2007, 42.)

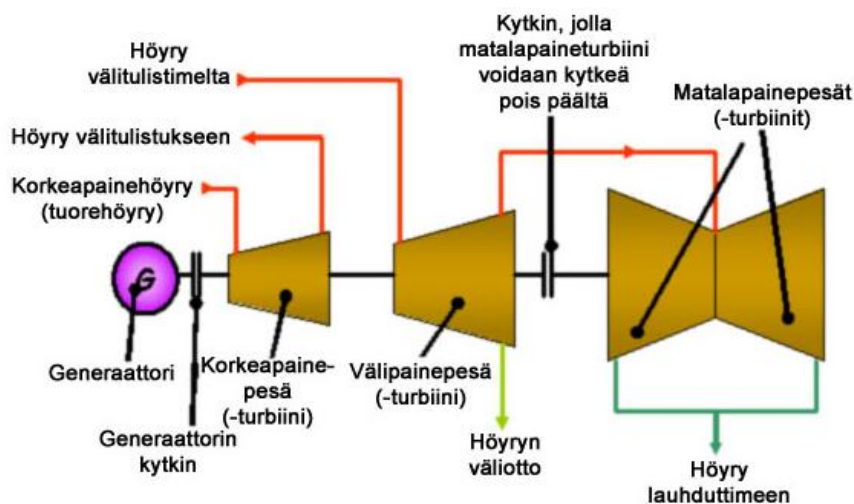
### **3.7 Höyryjärjestelmä**

Kattilan höyryjärjestelmän tehtävänä on tuottaa oikea määrä oikeassa lämpötilassa ja paineessa olevaa höyryä. Vettä saadaan syöttövesijärjestelmän avulla, josta vesi kulkee korkeapaine-esilämmittimen ja ekonomaiserin kautta lieriöön.

Reduktioventtiileiksi kutsutaan venttiileitä, joiden käyttötarkoitus on höyryn huomattava paineen alentaminen. Reduktioventtiiliin liittyy yleensä höyryn jäähdytys vesiruiskutuksella. Reduktion kautta voidaan tuottaa tarvittaessa prosessihöyryä ohittamalla turbiini, mutta samalla menetetään sähköntuotannosta saatava hyöty. (Joronen ym. 2007, 42.)

### 3.8 Turbiini

Turbiini on energiamuunnin, joka muuntaa höyryyn sitoutuneen energian akselin pyörimisenergiaksi ja tästä edelleen generaattorin pyörimisenergiaksi. Turbiinit jaetaan kolmeen eri tyyppiin niihin syötettävän höyrynpaineen mukaan: korkeapaineturbiiniin, välipaineturbiiniin ja matalapaineturbiiniin (kuva 7).



KUVA 7. Turbiinin rakenne (KnowEnergy 2012)

Väli- ja matalapaineturbiinit varustetaan usein höyryn väliotolla. Tämä tarkoittaa sitä, että turbiinissa asteiden välissä osa höyrystä ohjataan pois turbiinista ja osa seuraavaan turbiiniasteeseen. Väliotoista käytettyä höyryä käytetään muun muassa kattilan syöttöveden lämmitykseen. (KnowEnergy 2012.)

Erityisen tärkeää on, että turbiinissa höyryn on oltava kaikissa olosuhteissa kylläistä. Mikäli höyryssä on vesipisaroita, kuluttavat ne turbiineiden juoksusiivet pilalle. Höyry kondensoidaan takaisin vedeksi matalapainturbiinin jälkeisessä lauhduttimessa. (KnowEnergy 2012.)

Nykypäivän höyrykattilavoimalaitoksissa paineistettua vettä höyrytetään höyrykattilassa ja usein se myös tulistetaan ennen turbiinia. Tämän jälkeen tulistettu höyry ohjataan turbiinille, josta höyry muutetaan mekaaniseksi energiaksi paisuttamalla turbiinin läpi. Turbiini pyörittää jälleen generaattoria, joka tuottaa sähköenergiaa. Kaasuturbiinivoimalaitoksilla kuumat ja korkeapaineiset savukaasut pyörittävät turbiinia. (Joronen ym. 2007, 50.)

Höyryvoimalaitoksilla höyryn paisuminen tapahtuu yleensä useassa peräkkäisessä siipivyöhykkeessä. Näitä vyöhykkeitä kutsutaan impulssivyöhykkeeksi ja reaktiovyöhykkeeksi. Höyryn sisältämä lämpöenergia muutetaan mekaaniseksi energiaksi paisuttamalla. Impulssivyöhyke koostuu paikallaan olevista suuttimista sekä pyörivistä siivistä. Höyry paisuu suuttimen läpi, jolloin sen nopeus kasvaa. Paineen aleneminen ja ominaistilavuuden kasvu saavat aikaan nopeuden lisäytymisen. Suuttimen jälkeen höyry osuu pyöriviin juoksupyörän siipiin, mikä aiheuttaa liikeenergian. Reaktiovyöhykkeessä on pyöriviä suuttimia sekä staattorin suuttimia. Höyry paisuu staattorin suuttimissa, joissa höyryn nopeus kasvaa. Tämän jälkeen höyry menee pyöriviin suuttimiin, joissa höyry paisuu lisää. (Joronen ym. 2007, 50–51).

Turbiinin yksinkertainen simulaatiomalli perustuu höyryn massavirtaan ja entalpiamuutokseen turbiinin läpi. Entalpiamuutos määritellään paineen ja lämpötilan funktiona. Massavirta saadaan laskettua turbiinin painesuhteesta. (Lohiniva, 2011–2012, 84.) Turbiinin tuottama mekaaninen teho saadaan laskettua kaavalla 1.

$$P_m = m\Delta h = (m(h_{o(p,T)} - h_{(p,T)}))$$

KAAVA 1.

$P_m$ =turbiinin tuottama teho

$m$ =höyryn massavirta turbiinin läpi

$h_{o(p,T)} - h_{(p,T)}$ =höyryn ominaisentalpiat turbiinin mennessä ja siltä tullessa.

## 4 VALVOMO

Yleensä voimalaitosten valvomot koostuvat PC-tietokoneista, joilla on yhteys järjestelmään valvomoväylän kautta. Operointi tapahtuu näppäimistön ja hiiren välityksellä sekä prosessin seurantanäyttömonitoreiden kautta. Vanhemmissa voimalaitoksissa voi olla sekä digitaalisia että analogisella tekniikalla toteutettuja käyttöliittymiä. Normaalisti valvomopäivystäjä vastaa ensisijaisesti kaikista ohjaustoimenpiteistä, mutta hän tai vuoromestari voi halutessaan ohjeistaa muita henkilöitä esimerkiksi seuraamaan tiettyä tapahtumaa. Esimerkiksi Martinlaakson voimalaitoksella vuoroon kuuluu talvisaikaan viisi henkilöä: vuoromestari, valvomopäivystäjä, kaksi alikonemestaria ja käyttäjä. (Koskinen–Salo–Aaltonen 2009, 30.)

### 4.1 Valvomonäytöt

Valvomonäytöt on graafinen käyttöliittymä operaattorin ja prosessin välillä. Operaattori saa tietoa prosessista numeroin, tekstein, värein ja symbolein. Näytöt päivittyvät automaattisesti ja näin ollen operaattorit pysyvät ajan tasalla prosessin tapahtumista. Toimenpiteet tapahtuvat operaattorin toimesta. Valvomonäytöt koostuvat eri osa-alueista, jotka kuvastavat tiettyä prosessialuetta. Yleensä valvomonäyttöjä rakentaessa operaattorit pääsevät vaikuttamaan syntyviin näyttökuviin. Kuvista halutaan useasti yksinkertaisia ja loogisia kokonaisuuksia. Prosessit siis koostuvat tietyistä prosessikuvista ja niiden alakuvista. Tietyiltä sivulta on päästävä siirtymään nopeasti juuri kyseisen prosessin vaikuttaviin näyttökuviin.

Yleensä valvomon näytöillä on tietyt kuvat esillä koko ajan, jolloin prosessin seuraaminen helpottuu. Yhdeltä näytöltä voidaan esimerkiksi seurata hälytysnäyttöä, kun taas toiselta seurataan turbiiniosan näyttökuvaa.

### 4.2 Prosessikaavionäyttö

Prosessikaavionäyttöä voidaan pitää operaattorin ikkunana prosessiin. Prosessikaavionäytön avulla operaattorit toteuttavat tarvittavat prosessin toiminnot. Prosessikaavionäytöistä voidaan seurata reaaliaikaisesti esimerkiksi mittausarvoja, toimilaitteiden asentoja sekä hälytystietoja. Prosessin tilaa kuvaavat kaavionäytössä moottori-, venttiili- ja pumppusymbolit, tilatiedot teksti-

muodossa (esimerkiksi KÄY/SEIS), mittauspatsaat ja erilaiset numeroarvot. Prosessikaavionäytöjen rakenne perustuu PI-kaavioon, jonka pohjalta prosessi on graafisesti sijoitettu näytölle. (KnowPap 2000.)

### **4.3 Piirinäytöt**

Piirinäyttöjen avulla operaattorin on mahdollista operoida prosessia. Piiri-ikkuna on mahdollista avata esimerkiksi mittausarvon tai asetusarvon päältä. Kun operoitava kohde aktivoidaan, operoitavan kohteen päälle kaavionäytöllä ilmestyy yleensä piirinäyttö, josta itse operointi suoritetaan. Näytöltä avautuvalta dialogista on mahdollista muuttaa esimerkiksi asetusarvoa. Piiri-ikkunasta voidaan pysäyttää toimilaitteita. Esimerkiksi avaamalla moottoridialogi on mahdollista seis kokennolla pysäyttää tietty moottori. Piirinäytöille on yleensä olemassa myös piirikohtainen toimintakuvaus. Toimintakuvauksen avulla operaattorit saavat tietoa piirin toiminnasta sekä siihen vaikuttavista lukituksista. (KnowPap VTT 2000.)

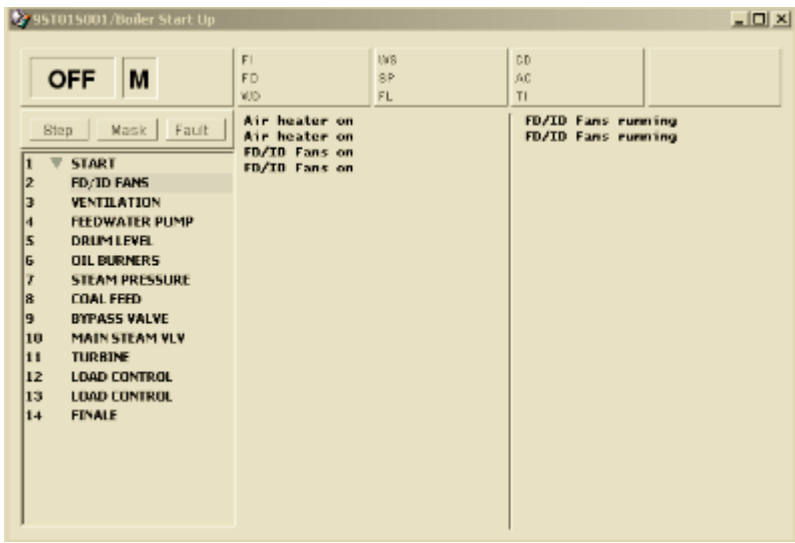
### **4.4 Sekvenssinäytöt**

Osa ohjauksista toteutetaan sekvenssiohjelmoinnilla, esimerkiksi kattilan ylösajo. Sen kautta on mahdollista selvittää, minkä ehdon täyttämättä jääminen estää sekvenssin etenemisen. Askelnäytöstä on mahdollista tarkastella sekvenssiohjelman askeleen ehtoja ja toimenpiteitä. (KnowPap VTT 2000.)

Sekvenssiohjelmat tehdään omalla CAD-työkalulla, eli perinteisen prosessiasemaohjelmoinnissa käytettävän FbCADin sijasta käytetäänkin SeqCAD-ohjelmointityökalua. Sekvenssiohjelmoinnissa vain yksi askel on kerrallaan aktiivinen, ja vain sen toimilohkoja suoritetaan. Askeleet koostuvat toimenpiteistä ja etenemisehdoista. Sekvenssi etenee askel kerrallaan siten, että ensin toteutetaan askeleeseen ohjelmoidut toimenpiteet ja tämän jälkeen jäädään odottamaan askeleeseen määriteltujen etenemisehtojen toteutumista. (Heikkinen 2012.)

Sekvenssejä varten on olemassa oma esitystapansa niin sanotut sekvenssinäytöt (kuva 8). Eteneminen vaiheesta toiseen edellyttää tiettyjen ehtojen täyttymistä. Kuvassa 8 on Oulun ammatti-korkeakoulun PowerDemo-simulaattorin kuumakäynnistyssekvenssi. Simuloidun prosessin käyn-

nistäminen sekä saattaminen normaaliin ajotilanteeseen suoritetaan kuumakäynnistyssekvenssillä.



KUVA 8. Kuumakäynnistyssekvenssi



## 5 SUUNNITTELUOHJELMAT

Metso DNA-järjestelmän tärkeimmät suunnitteluohjelmat ovat FbCAD, SeqCAD sekä DNAuseEditor.

### 5.1 FbCAD

FbCad (Function Block Computer Aided Design)-työkalua käytetään suunnittelupalvelimella (EAS) tai suunnittelutyöasemassa (EAC) sekä osittaisilla toiminnoilla itsenäisessä Windows-pohjaisessa työasemassa. (Metso Manuals 2010.)

FbCadillä voidaan suunnitella toimilohkokaavioita eli metsoDNA CR:n ohjaaman prosessin säätöön ja ohjauksiin liittyviä säätöpiirejä. Toimilohkokaaviot koostuvat konfigurointitoiminnoista, joita ovat mm. PCS:n jatkuvat säädöt, I/O-toiminnot ja kaaviolamppuohjaukset sekä valvomon positio-, operointi- ja tapahtumatoiminnot ja informaatiohallinta-aktiviteetin historiatoinnot. (Metso Manuals 2010.)

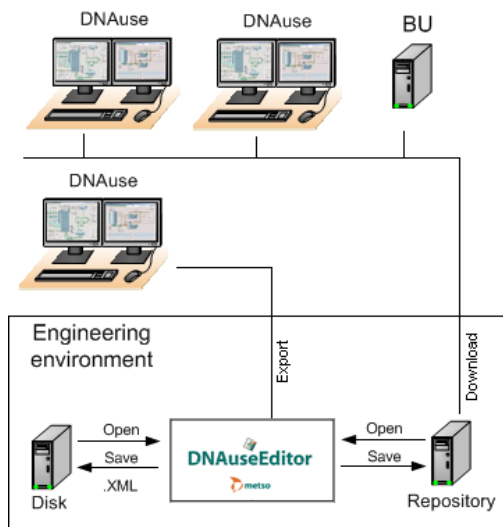
FbCadillä voidaan luoda piiristä graafinen kuva eli automaatiomoduli. Automaatiomoduli koostuu esiohjelmoiduista toimilohko- ja moduulisymboleista. Ohjelmasta löytyy toimilohkoja useille eri toiminnoille, kuten säätimille, mittauksille, moottoreille ja venttiileille. (Metso Manuals 2010.)

### 5.2 SeqCAD

SeqCAD (Sequence CAD) -työkalua käytetään ajallisesti peräkkäisten ohjaustoimenpiteiden automatisoimiseksi. Peräkkäisiä osia kutsutaan askeleiksi. Yksittäiseen askeleeseen on kerätty ne toimenpiteet, jotka voidaan toteuttaa samalla kerralla. Askeleesta siirytään seuraavaan, kun siirrokseen oikeuttava ehto tulee voimaan. Sekvenssille on ominaista, että yksi askel on kerrallaan aktiivinen ja vain yhtä osaa suoritetaan ohjelmasta. Askelrakenteen oikealla puolella on askeleeseen liittyvät toimenpidetoimilohkot ja vasemmalla puolella on ehtotoimilohkot.

### 5.3 DNAuseEditor

DNAuseEditor on kuvasuunnittelutyökalu. Kuvat tallennetaan suunnitteluympäristön makasiiniin, josta ne siirretään ajoympäristöön. Kuvat on myös mahdollista tallettaa työaseman kiintolevylle. Kuvat tallennetaan XML-muodossa. DNAuseEditorilla voidaan luoda graafinen käyttöliittymä. Kaavionäyttö näkyy suunnittelijan työasemalla samassa muodossa kuin se tulee näkymään MetsoDNA-monitorinäytössä. Ohjelman kirjastosta voidaan hakea valmiita toimilohkoja pumpuille, moottoreille, venttiileille mittauksille ja säätimille. Valikoiden avulla kuvaan voidaan piirtää erilaisia viivoja, ympyröitä ja monikulmioita. (Metso Manuals 2010.)



KUVA 9. Editorin ympäristö (Metso Manuals 2010)

## 6 SIMULAATTORIKOULUTUKSEN HYÖDYT

Simulaattorikoulutuksen hyötyjä voidaan tarkastella useammasta näkökulmasta. Usein koulutuksesta hyötty sekä kouluttava organisaatio ja koulutettavan organisaatio.

Simulaattorien avulla opitaan kädentaitoja, päätöksentekoa ja ongelmaratkaisua ja tämän vuoksi käytännön koulutukseen ja työelämään voidaan siirtyä entistä valmiimpana. (Salakari 2010, 14).

### 6.1 Prosessisimulaattori

Simulaattori on todellisuuden jäljittelyä. Yleisesti simuloinnilla tarkoitetaan jonkin tuotteen, prosessin tai järjestelmän olennaisten osien, tai kokonaisuuksien jäljittelyä. Tietokoneohjelmia voidaan laatia siten, että opiskelija toimii mallinnetussa ympäristössä ja tekee simulaatiossa harjoitteita. Simulaattorin etuna on se, että simulaatiossa voi olla ohjaaja mukana muun muassa antamassa neuvoja, vihjeitä, muuttamassa harjoiteltavaa tilannetta ja arvioimassa. (Räsänen, 2004.)

Simulaattori mahdollistaa sellaisten tilanteiden harjoittelun, mitä ei voitaisi toteuttaa turvallisesti reaali maailmassa. Vaaratilanteita esimerkiksi voimalaitossimulaattorilla ei tehdä harjoittelun vuoksi, vaan vaaratilanteessa tulee jokaisen toimijan osata tehdä tarvittavat toimenpiteet oikein. Simulaatioharjoittelun jälkeen opettajat ja opiskelijat voivat yhdessä arvioida toimintaa ja harjoitella eri toimintamalleja ja niiden eri vaikutuksia todellisissa tilanteissa. (Räsänen, 2004.)

Simulaattoreiden käyttöön on useita syitä. Simulaattoreiden käyttö opetuksessa on kustannustehokasta, sillä voimalaitoksissa tapahtuvat tilanteet ovat usein suuruusluokaltaan hankalia tai suorastaan mahdottomia kouluttaa muulla kuin simulaattorilla. Toisena puolena on, että aikaa säästyy, kun keskitytään olennaisten asioiden opiskeluun. Kolmantena hyvänä puolena on simulaatioiden toistettavuus. Viimeisimpänä muttei vähäisimpänä on simulaatioiden turvallisuus. Simulaattorin käyttäjä ei pääse tekemään virheitä, jotka aiheuttaisivat ulkopuoliselle todellisen vaaratilanteen. (Räsänen, 2004.)

## 6.2 Simulaattorikoulutuksen hyödyt kouluttajalle ja opiskelijalle

Simulaattoreilla tapahtuva oppimisprosessi sisältää usein piirteitä, jotka viittaavat kognitiiviseen oppipoikakoulutukseen. Toiminta on alussa hyvin opettajajohtoista, mutta opettajan rooli vähenee sitä mukaa, kun oppijan taidot ja tiedot kasvavat. Ohjauksen määrä vähenee oppimisen edistytessä, jolloin opiskelija ottaa enemmän vastuuta työn tekemisestä itse. (Salakari 2010, 78.)

Edellä mainitun oppipoikakoulutuksen vaiheet ovat seuraavat: (Salakari 2010, 79–80.)

**Mallintamisessa** opiskelija seuraa opettajan suorittavan tehtävän sekä huomioi ja muodostaa mentaalisen mallin suorituksesta aitoon toimintaympäristöön. Opettajan olisi hyvä puheella kertoa tapahtumat, jolloin oppiminen menee paremmin perille.

**Valmentamisvaiheessa** opiskelija tekee tehtävää itsenäisesti. Opettajan rooli on antaa palautetta sekä vihjeitä opiskelijan työstä. Tarkoitus on kehittää taitoja kohti päämäärää eli ammattilaisen tapaa toimia eri tilanteissa.

**Häivyttämisessä** opettajan ohjaaminen vähenee entisestään ja opiskelija pyrkii itseohjautuvaan opiskeluun.

**Itseohjautuvassa oppimisessä** opiskelija harjoittelee simulaattorilla itsenäisesti sekä analysoi omaa suoritustaan.

**Yleistämisvaiheessa** opiskelija lopulta soveltaa taitoja uusiin tilanteisiin ja olosuhteisiin.

Kuten edellä tuli esille, kouluttajan rooli on johdatella opetettavaa oikeisiin toimintatapoihin. Kouluttajan rooli on siis varsin tärkeä, koska työ on erilaista kuin käytännössä. Kouluttajan on helppo toistaa harjoituksia, ja taitoja voidaan hioa ilman riskejä.

Opiskelija pyrkii itseohjautuvuuteen, kuten oppipoikakoulutuksen vaiheet osoittavat. Opiskelijat oppivat simulaattorikoulutuksessa käytännön työtaitoja sekä päätöksentekokykyä. Simulaattorikoulutus on mielekästä opiskelijalle, koska harjoitteita pääsee itse kokeilemaan. Kun koulutus on mielekästä, motivaatio ja oppiminen tehostuvat huomaamatta.

Simulaattoripohjaisella oppimisella on olemassa myös rajoitteita. Yleensä opiskelija tietää kyseessä olevan vain jäljitelmä. Usein täysin realistista simulaatiota on lähes mahdotonta tehdä vaan ne perustuvat jäljitelmiin. Puutteellisesti mallinnetut simulaattorit tai vähäiset ohjaukset saattavat ohjata väärään toimintamalliin.

### **6.3 Simulaattorikoulutuksen hyödyt kouluttavalle organisaatiolle**

Voimalaitossimulaattori on mahdollista sovittaa kouluttavan organisaation näyttötutkintoon. Näin ollen se on yksi valttikortti opiskelijoita haettaessa. Koulutus on tehokasta ja monipuolista sekä oppimistuloksia on mahdollista saavuttaa entistä pienemmillä kustannuksilla. Koulutuksesta saadaan ajankäytöllisesti tehokasta. Oppiminen on mitattavissa sekä seurattavissa, ja se on tilannepohjaista perinteiseen koulutukseen verrattaessa. Organisaation on mahdollista järjestää kohdennettuja koulutuksia eri sidosryhmille.

## 7 LÄHTÖKOHTA SEKÄ TAUSTA

Pohto on hankkimassa voimalaitossimulaattoria oppilaskäyttöön. Lähtökohtana on hyödyntää Pohton GreenPower-koulutustehdasta simulaattorin sijoituspaikkana. Pohto on mukana Predykot-hankkeessa, jossa yksi koulutuskokonaisuus on automaatiojärjestelmän käytön yhteydessä tapahtuvien ulkopuolisten kyberhyökkäysten torjuminen ja järjestelmän palautuminen normaalitilaan. Voimalaitossimulaattoria tullaan ensisijaisesti käyttämään voimalaitoskäyttäjän ammattitutkintojen koulutukseen ja tutkintasuoritusten osoittamiseen. (Palokangas 2012.)

### 7.1 Esiselvitys

Esiselvitys luo pohjan onnistuneelle hankkeelle. Voimalaitossimulaattorin taustalla ovat käyttäjien ja kouluttavan organisaation tarpeet, uudet ideat sekä erilaiset rajoitukset ja reunaehdot. Käynnistettäessä uutta hanketta ei ollut täysin selvää, mitkä ovat ongelmat, haasteet, tarpeet, jotka hankkeen tulisi selvittää. Ennen kuin voimalaitossimulaattori hankitaan, on tavoitteet ja laajuus tarkennettava tekemällä esiselvitys ja näin ollen löytää vaihtoehtoja simulaattorin hankintaan. Lopputuloksena esiselvitys on arvokas väline organisaatiolle päätöksenteossa.

Pohton voimalaitossimulaattorin selvitys osoittautui melko haastavaksi projektiksi. Tietoa voimalaitossimulaattoreista löytyi melko vähän Internetistä. Aineistoa pyrittiin keräämään haastattelujen sekä jo toteutettujen voimalaitossimulaattoreiden pohjalta. Opinnäytetyötä tehtäessä pitää miettiä, missä suuruusluokassa esiselvitystä tehdään ja mikä osa jätetään toimittajan selvittäväksi. Lopuksi päädyttiin tutkimaan, kuinka Toppilan voimalaitossimulaattorista saataisiin kevyempi versio oppilaskäyttöön. Lisäksi tavoitteena oli saada esiselvitykseen kummankin osapuolen vaatimukset ja tarpeet.

### 7.2 Vaatimukset

Simulaattorille kohdistuvia vaatimuksia selvitettiin Pohton henkilökunnan avustuksella. Vaatimuksena oli toteuttaa kaksi voimalaitosympäristöä. Voimalaitokset ovat toistensa kopioita, mutta niitä on mahdollista operoida omina kokonaisuuksina. Opettajakoneelta tulisi olla mahdollista tehdä häiriöitä prosessiin ja näin ollen seurata oppilaiden reagointia eri tilanteisiin. Näyttökuvat voimalai-

tossimulaattorissa on esitetty liitteessä 1. Opettajan koneelta pitää olla mahdollista tehdä erikseen määritettyjä häiriöitä. Nämä on esitetty liitteessä 2. (Palokangas 2012.)

Voimalaitostyyppi tulee olla Toppila 2:n mukainen väliottolauhdutusvoimalaitos, jossa polttoaineena käytettäisiin turvetta sekä haketta. Tämä palvelisi tulevaisuudessa Toppilaan valmistuvia uusia operaattoreita, koska prosessi olisi vastaavanlainen ja tunnettu. (Palokangas 2012.)

Voimalaitossimulaattorin tietoliikenne on verkon ylitse tapahtuva. Tämä on sekä asiakkaan että palvelun tarjoajan kannalta kustannustehokasta ja vaivatonta, sillä se ei esimerkiksi ole sidottu läsnäoloa edellyttävään huoneistoon pääsyyn tai kellonaikoihin. Voimalaitossimulaattoria on pystyttävä operoimaan Tampereen Pohton toimipisteestä. (Palokangas 2012.)

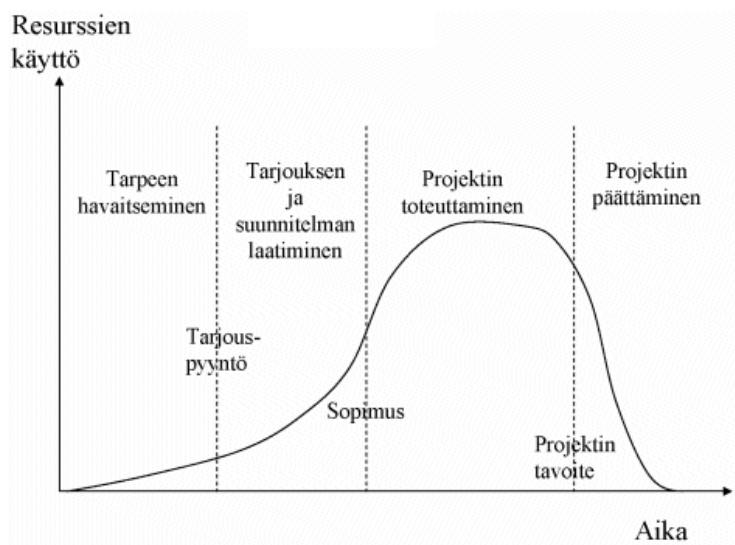
Simulaattorissa olisi seuraavat pääkomponentit: kattila, turbiini, jäähdytysvedet sekä kaukolämpöverkko. Voimalaitoksen ylösajoa tulisi voida nopeuttaa ja koko prosessi pitäisi olla siinä määrin yksinkertainen, että se on opettajan ymmärrettävissä. (Palokangas 2012).

### **7.3 Resurssit**

Uutta projektia aloitettaessa on aina tarkasteltava resursseja. Yleensä resurssitarpeiden laskeminen aloitetaan siitä, että pilkotaan tehtävät pienemmiksi osiksi. (Helsingin yliopisto 2006.) Projektin alussa huomataan tarve ja sen jälkeen tehdään toimittajalle tarjouspyyntö. Toimittaja valmistelee tarjouksen ja laatii suunnitelman. Mikäli tarjous tyydyttää molempia osapuolia, päästään sopimukseen. Tämän jälkeen aloitetaan projektin toteuttaminen ja lopulta päästään projektin tavoitteeseen ja päätetään projekti (kuva 10).

Voimalaitossimulaattorin budjetista tilaaja ja toimittaja ovat sopineet ennen esiselvityksen toteuttamista. Resursseiksi voidaan katsoa myös käytetty aika. Aikaa vievät esiselvityksen teko sekä lopullisen voimalaitossimulaattorin toteutus. Hankkeen aikataulun ja vaiheistuksen tarkoituksena on varmistaa, että hanke on mahdollista toteuttaa ja saada valmiiksi suunnitellussa aikataulussa. Aikataulun suunnittelulle on ominaista, että se perustuu arvioihin. Hankkeen edetessä Pohto on tutustunut Toppilan voimalaitossimulaattoriin. Hankkeen edetessä myös tarpeet ja vaatimukset ovat muuttuneet, ja ne on otettava huomioon lopputuloksessa. Hanke elää koko ajan ja toimittajan pystyttävä vastaamaan myös muuttuviin tilanteisiin. Toisaalta muutokset johtuvat myös siitä,

että tilaaja on joutunut luopumaan osasta vaatimuksista juuri sen vuoksi, että se on mahdotonta toteuttaa käytössä olevalla budjetilla.



KUVA 10. Projektin kulku (Helsingin yliopisto 2006)

Pohton nykyiset toimitilat sijaitsevat Oulussa Nallikarissa. Pohtolla on valmiina oppimisympäristö, jota tullaan hyödyntämään voimalaitossimulaattorin kotipaikkana (kuva 11). Oppimisympäristössä on valmiina käyttäjien tietokoneet, joten niitä ei tarvitse erikseen hankkia. Tilaaja ja toimittaja ovat sopineet alustavasti budjetista, johon kuuluu simulaattorin toimitus sekä kytkin. (Palokangas 2012.)



KUVA 11. Pohton oppimisympäristö (Pohto 2012)



## **7.4 Hankkeen kannattavuus**

Useat tekijät vaikuttavat voimalaitossimulaattori hankkeen kannattavuuteen. Ensisijaisesti hankkeen kannattavuuteen vaikuttavat toteutusvaiheessa tehtävät valinnat. Hankkeen kannattavuuteen vaikuttavat osaltaan sekä taloudelliset että tekniset toteutukset. Hankkeen kannattavuutta ei ole syytä tarkastella pelkästään taloudelliselta kannalta, vaan kuinka hyvin uusi voimalaitossimulaattori palvelee käyttäjänsä tai omistajansa tarpeita.

## 8 METSODNA -SIMULAATTORI

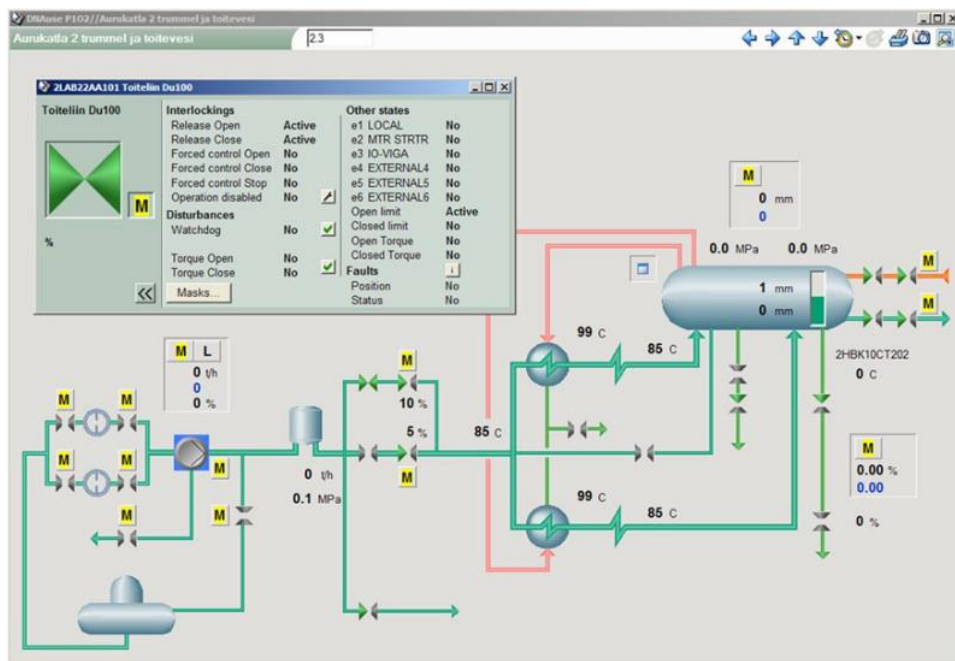
### 8.1 MetsoDNA voimalaitossimulaattori

MetsoDNA-simulaattorit on luotu silmälläpitäen operaattoreiden koulutusta. Simulaattorit lyhentävät käyttöönottoaikaa, nopeuttavat käynnistystyksiä sekä vähentävät häiriöitä. MetsoDNA-simulaattorin käytöllä on mahdollista syventää prosessiosaamista, ja mikäli laitoksen käynnistystyksiä ja alasajoja tulee harvoin, simulaattorilla saadaan operaattoreille riittävä määrä toistoja. Samalla vähenevät virheoperoinnit, tehokkuus paranee sekä päästöt vähenevät. (Kaivosoja–Haapaaho, 2012.)

#### 8.1.1 Simulaattorin käyttöliittymä

DNA harjoittelusimulaattorissa on samanlainen käyttöliittymä kuin oikeassa Metso DNA -järjestelmässä. Prosessikaavionäytöltä on mahdollista avata piirinäyttöjä, joista voidaan esimerkiksi tarkastella venttiilin asentoa (Kuva 12).

Käyttöliittymä luodaan Metson DNAuseEditoria tai GdCADia käyttäen. Ohjelmissa on valmiita kirjastoja, joista voidaan valita toimilaitteita ja putkistoja kuvaamaan todellista prosessia.

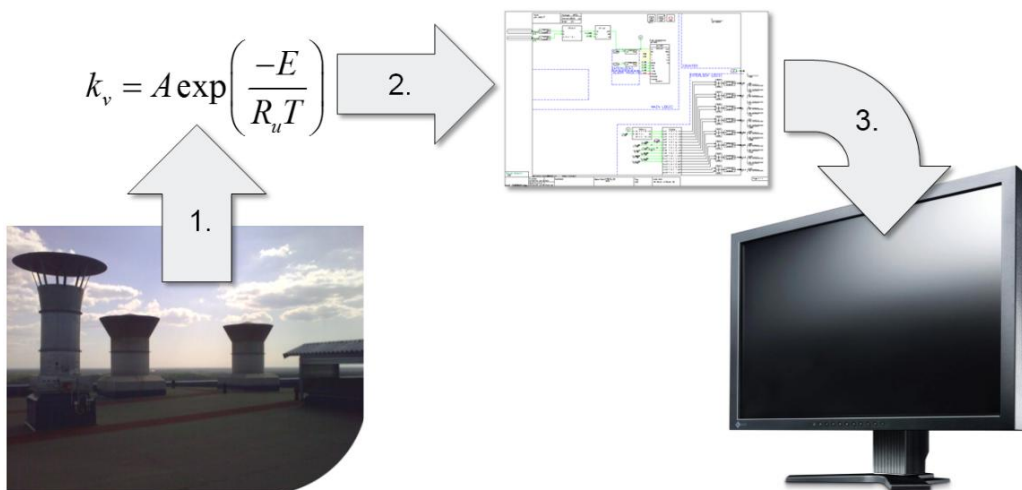


KUVA 12. Metso harjoittelusimulaattorin käyttöliittymä (Kaivosoja ym. 2012)

### 8.1.2 Mallintaminen

Kukin fyysinen komponentti simulaattorissa on kuvattu prosessimallilla ja ne pohjautuvat asiakailta saataviin malleihin. Mikäli tietoja ei ole saatavilla jostakin osaa prosessia, paras malli on ”paras arvaus” toteutettavasta toiminnasta. Prosessimallit perustuvat joko massan tai virtauksen säätöön sekä termodynaamisiin yhtälöihin eli fyysiseen mallinnukseen. Yksi esimerkki fyysisestä mallintamisesta on tulistin, jossa lämmönsiirto tapahtuu virtaavasta väliaineesta lämmön siirtimeen. (Leppäkoski 2012.)

Simulaattorissa jokainen mittaus on yhteydessä prosessisimulaatioon. Mahdollisia anturiviiveitä on mahdollista lisätä ohjelmiston kautta. Simulaattorille toteutettava prosessimallintaminen on toteutettu Metson asiantuntijoiden avulla. Oikeasta voimalaitoksesta otetaan prosessimalli. Tämän jälkeen prosessimalli toteutetaan FbCAD-ohjelmistolla. Lopuksi FbCAD-moduulit ladataan virtuaaliseen Metso DNA-järjestelmään (kuva 13). On huomioitava, että mallit eivät koskaan vastaa täydellisesti todellista prosessia.



KUVA 13. Mallintaminen oikeasta voimalaitoksesta simulaattorille

Virtuaalinen MetsoDNA sisältää täsmälleen samat toiminnot ja kuvaukset sekä ohjaustoiminnot kuin oikea MetsoDNA-järjestelmä, mutta ilman I/O-liityntää. Lisäksi simulaattoriin voidaan toteuttaa ulkopuolisia logiikkasovelluksia kuten turvalogiikka, jota käytetään esimerkiksi kattilasuojassa (kuva 14). Simulaatiomallit voidaan toteuttaa kahdella eri menetelmällä:

- prosessinohjausjärjestelmä virtuaalisen järjestelmän alustalle

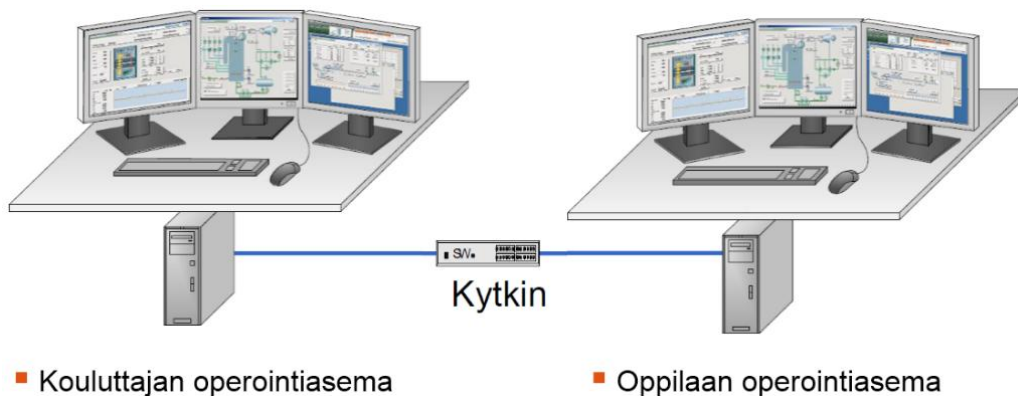
- vaihtoehtoisesti käyttämällä simulaatio alustaa (esimerkiksi matlab, apros, easy java tai modelica).



KUVA 14. Kääntäminen (Kaivosoja ym. 2012)

### 8.1.3 Simulaattorin rakenne

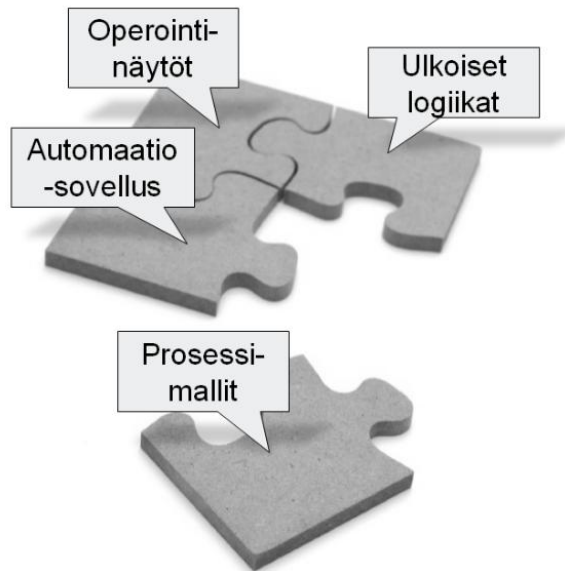
Simulaattoria ei saa kytkeä todellista prosessia ohjaavaan automaatiojärjestelmän kanssa samaan verkkoon, sillä se aiheuttaa häiriöitä ja vaaratilanteita oikeassa prosessissa. Kuvassa 13 on esitelty Metso DNA simulaattorin järjestelmä layout. Kouluttajan sekä oppilaan operointiasemat on yhdistetty kytkimen avulla. Virtuaalinen Metso DNA toimii tehokkaissa toimistotietokoneissa. (Kaivosoja ym. 2012.)



KUVA 15. Järjestelmän layout (Kaivosoja ym. 2012)

Simulaattorin sovellus koostuu neljästä osasta (kuva 16). Operointinäytöt kattavat muun muassa asetusarvot, trendit ja hälytykset. Jokainen ulkoinen logiikka on yhteydessä Metso DNA-järjestelmään. Automaatiosovellus koostuu sekvensseistä, lukituksista, on/off sekä automaattioh-

jauksista. Prosessisimulaattori vaatii toimiakseen prosessimallit. Prosessimallit on luotu eri toimilaitteille, mittauksille sekä ohjaustoimenpiteille. (Kaivosoja ym. 2012.)



KUVA 16. Sovelluksen rakenne (Kaivosoja ym. 2012)

#### 8.1.4 Virtuaalisen Metso DNA simulaattorin käyttö

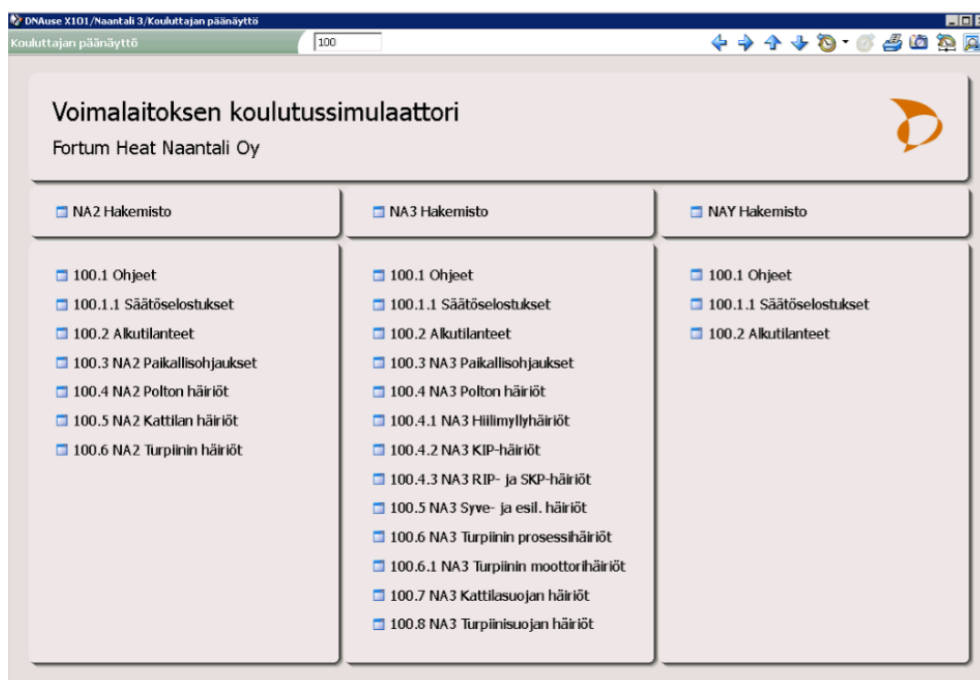
Virtuaalista Metso DNA -simulaattoria voidaan käyttää kuten DVD-soitinta. Simulaattorin prosessin voi keskeyttää, pysäyttää, tallettaa tai uudelleen käynnistää milloin tahansa. Lataus ja tallennus takaavat sen, että harjoittelija voi toistaa kriittisiä kohtia yhä uudelleen ja milloin tahansa.

Kouluttajalla on eri näkymä virtuaalisesta simulaattorista kuin koulutettavalla. Ilman varoituksia kouluttajan on mahdollista tehdä kriittisiä vikoja tai muita uudelleen ohjelmoitavia prosessivikoja (kuva 17).

Feed water pump	STOP	START	
Drum level	HIGH	LOW	NORMAL
Condenser level	HIGH	LOW	NORMAL
⋮			

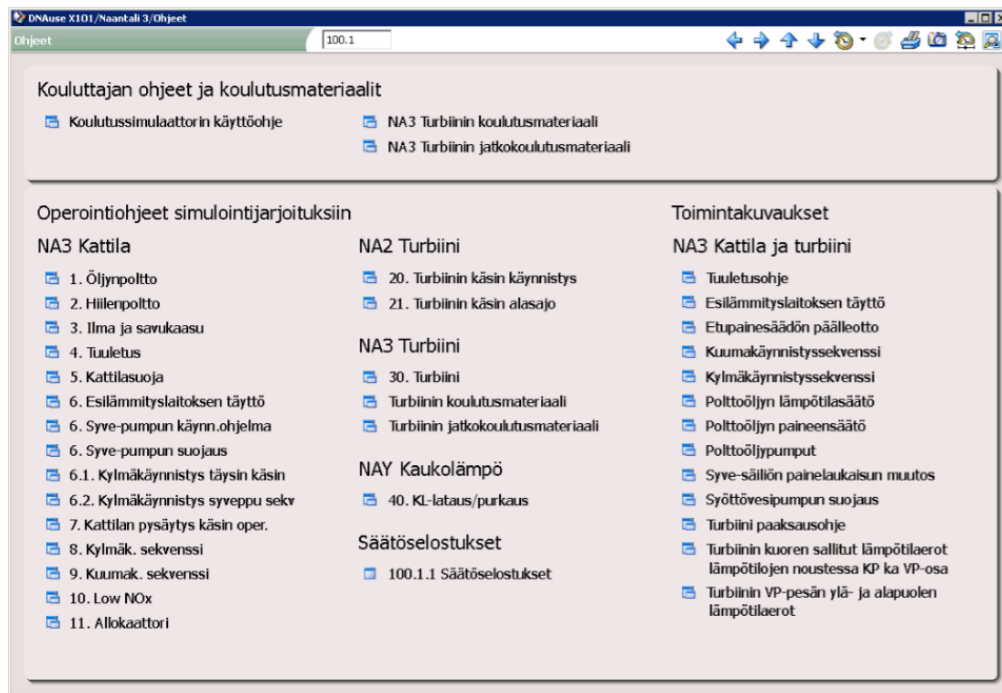
KUVA 17. Kouluttajan näkymä (Kaivosoja ym. 2012)

Simulaattori koostuu eri näytöistä. Simulaattorille luodaan päänäyttö, joka tässä esimerkissä on 100 (kuva 18). Esimerkit on otettu Fortum Heat Naantali Oy:n koulutussimulaattorista. Päänäyttöä on mahdollista tarkastella muun muassa ohjeita, säätöselostuksia sekä alkutilanteita.



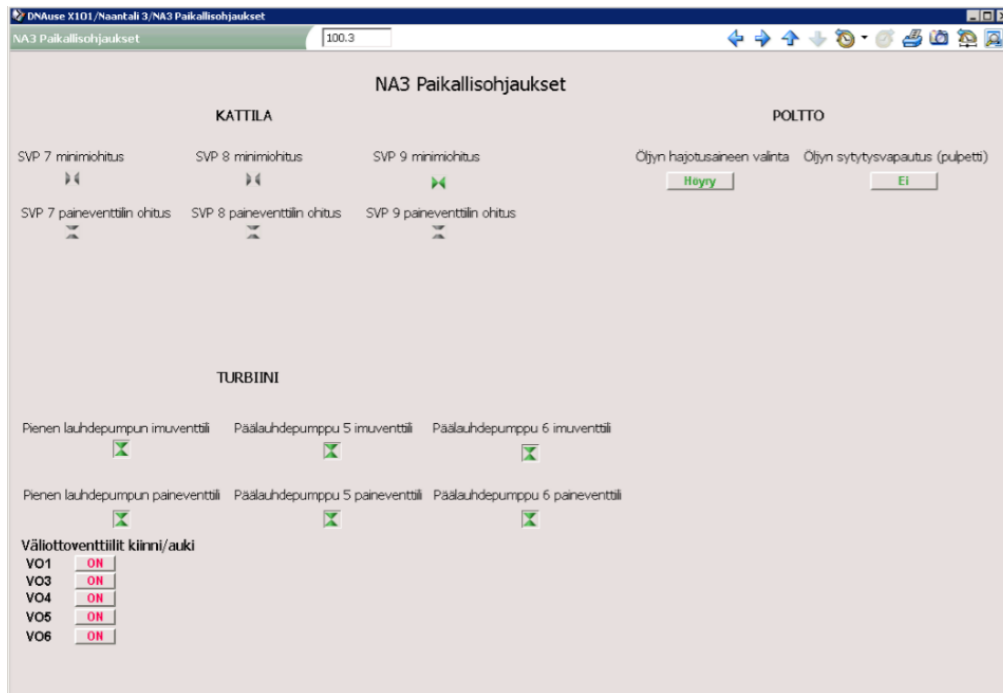
KUVA 18. Päänäyttö (Kaivosoja ym. 2012)

Kuvassa 19 on esitelty simulaattorin ohjeet. Näytön yläreunasta löytyy kouluttajan ohjeet ja koulutusmateriaalit sekä eri prosessialueille operointiohjeet.



KUVA 19. Ohjeet (Kaivosoja ym. 2012)

Simulointiharjoituksen aluksi kouluttaja voi käynnistää simulaattorin jostakin aiemmin tallennetusta alkutilanteesta. Simulaattorin hetkellinen ajotilanne voidaan milloin tahansa tallentaa tallennuspaikkoihin. Tallennetulle ajotilanteelle on mahdollista antaa nimi. Tietyt laitteet, jotka todellisuudessa ovat vain paikallisesti kentältä ohjattavissa, ovat simulaattorissa ohjattavissa myös operointinäyttöiltä. Näille paikallisohjauksille tehdään yleensä erillinen koottu näyttö (kuva 20). (Kaivosoja ym. 2012.)



KUVA 20. Paikallishajaukset (Kaivosoja ym. 2012)

## 8.2 Toppilan voimalaitossimulaattori

Tarkoituksena on käyttää Toppilan voimalaitossimulaattorin olemassa olevia automaatiomoduuleja hyödyksi, kun suunnitellaan Pohton voimalaitossimulaattoria. Toppilan voimalaitossimulaattori on otettu käyttöön vuonna 2006. Sitä voidaan pitää pilottikohteena. Voimalaitossimulaattoria on ylläpitänyt entinen käyttöpäällikkö, joka sittemmin on lopettanut työuransa. Simulaattoria on hiottu vuosien varrella paremmaksi, mutta nykyään sen käyttö on melko harvinaista. Simulaattori toimii operaattoreiden, kunnossapito henkilöstön, kattila- sekä turbiinimiesten koulutuksessa. Simulaattori kuvastaa todellista Toppila 2 –voimalaitosprosessia, ja sen vuoksi se on erittäin hyvä opetusväline. (Rintala 2012.)

Haittana simulaattorissa on, että se on suhteellisen raskas käyttää. Koulutussimulaattori on toteutettu varsinaisesta järjestelmästä erillisenä järjestelmänä. Fyysiseltä kokoonpanoltaan simulaattori sisältää yhden EAS-suunnittelupalvelimen, jossa sijaitsevat suunnittelutyökalut ja simulointijärjestelmän tietokanta sekä virtuaalinen hälytysasema, diagnostiikka-asema sekä mahdollinen apuprosessiasema simulaattorijärjestelmän komentamista varten. Toinen tietokone sisältää opeointiaseman, jossa sijaitsee myös virtuaalinen prosessiasema. (Sillanpää 2006.) Simulaattori on toteutettu siten, että siinä on kouluttajan kone sekä koulutettavan kone vastakkain. Automaati-



tiomoduuleja järjestelmässä on yhteensä 4680 ja näistä malli- tai simulointimoduuleja on 1200. (Rintala, 2012.) Järjestelmäversio simulaattorissa on metsoDNA 2005 ja näytöt on toteutettu GdCADilla. Sovellusohjelmisto on siirretty nykyisestä automaatiojärjestelmästä suoraan simulaattoriin.

Simulaattorilla on mahdollista tehdä normaaleja operointeja, kuten mittausten, säätöjen ohjauksen, toimilaitteiden sekä sekvenssien operointeja. Mahdollista on harjoitella kattilan ylösajoa, joka sisältää myös tärkeimpien osaprosessien käynnistyksen. (Sillanpää 2006.)

Simulaattorin käynnistys, pysäytys ja jäädytys tapahtuvat kouluttajan operointinäytöltä. Simulointeja on mahdollista aloittaa viidestä eri tasapainotilasta. Prosessimallissa kullekin suureelle on annettu minimi- ja maksimirajat, jolla pyritään estämään laskennan ajautuminen mahdottomalle alueelle. Lämpötilojen mallinnus on tapahtunut lämpötaseiden kautta. FbCADin puolella prosessin viiveet toteutetaan lela- ja viivetoimilohkoilla. Paineen muutos lasketaan tulevien sekä lähtevien virtausten erotuksen kautta. Näissäkin mittauksissa viiveet mallinnetaan lela- ja viivetoimilohkoilla. Höyryn ja syöttöveden virtaukset lasketaan pumpun kierrosnopeudesta ja laitteen yli vaikuttavasta paine-erosta. Tukiprosessien mallinnettavat virtaukset voidaan laskea toimilaitteen asennosta tai kierrosnopeudesta. Pinta-, paine- sekä lämpötilakytkimet on varustettu binäärihälytyksellä. Kouluttajan käyttöliittymästä on mahdollista asettaa binäärihälytys päälle. Näitä ovat esimerkiksi syvepumpun laukaisevat turvakytkin/ sähkökeskusvika, polttoainelinjojen tukosvahdit ja generaattorikatkaisija auki. Jokaiselle moottorille ja venttiilille on generoitu virtuaalijärjestelmään simulointimoduuli, joka antaa käyntitiedon takaisinkytkennän, jonka vuoksi kaikki moottorit on mahdollista käynnistää ja pysäyttää järjestelmästä. (Sillanpää 2006.)

## 9 HANKINNAN VERTAILU- JA VALINTAPERUSTEET

Tutkittaessa eri vaihtoehtoja toteuttaa voimalaitossimulaattori saadaan kolme mahdollista toteutustapaa. Pääperiaatteena on, että käytetään mahdollisimman paljon hyväksi jo olemassa olevaa aineistoa ja suunnittelutapoja. Metsolla ei ole tällä hetkellä olemassa kevyempiä simulaattoreita, vaan Toppilan simulaattori nähdään parhaana vaihtoehtona mallintaa simulaattori Pohtolle. Tulevaisuudessa Metso on toteuttamassa myös kevyempiä vaihtoehtoja, muun muassa turbiinisimulaattorin sekä kaukolämpösimulaattorin (Henttu 2012).

**Vaihtoehto 1:** Tehdään yksinkertainen malli voimalaitoksesta ja sisällytetään vain pääsäädot.

**Vaihtoehto 2:** Ositetaan voimalaitosprosessi.

**Vaihtoehto 3:** Kopioidaan Toppilan voimalaitossimulaattori täydellisenä Pohtolle.

Kullakin toteutustavalla on omat heikkoudet ja vahvuudet. Seuraavassa eri vaihtoehdot on esitelty alaluvuissa tarkemmin.

### 9.1 Vaihtoehto 1

Toteutustavassa tehdään yksinkertainen malli voimalaitoksesta. Pääprosessit toteutetaan Toppilan voimalaitossimulaattorin mallien mukaan. Simulaattorilla voidaan kouluttaa koko prosessi ja valitut säädot ovat täydellisiä. Käytännössä tehdään uusi simulaattori hyödyntäen valmiita ratkaisuja simulointiin ja säätöihin liittyen. Tällä tavoin päästään selkeään ja parempaan lopputulokseen. (Pyykkö, 2012.) Pääprosessit joissa hyödynnetään Toppilan voimalaitossimulaattorin malleja, ovat seuraavat:

1. kiinteän polttoaineen syöttö
2. palamisilmat
3. höyry
4. syve
5. öljy
6. turbiini
7. kattilasuoja.

Turvallisuuteen liittyvä järjestelmä (TLJ) on suojausjärjestelmä, joka keskeyttää tai ohjaa prosessin turvalliseen tilaan prosessin ajautuessa vaaratilanteeseen. Turvallisuuteen liittyvät järjestelmät toteutetaan erillään varsinaisesta käyttöautomaatiosta. Esimerkiksi Himatrix-turvalogiikka on erillinen logiikka, joka hoitaa turvallisuuteen liittyviä toimintoja. Simulaattorille turvalogiikka tehdään ainoastaan FbCADin puolella, jossa sovellus hoitaa logiikan tehtävät. Simulaattorin turvalogiikkaan liittyy muun muassa voimalaitoksen kattilasuoja, poltinsuoja, höyryturbiinin ylikerrossuoja ja muu suojaus, välitulistuksella varustetuissa kattiloissa korkeapaineosan ylipainesuoja sekä kaasuturbiinin suoja.

Voimalaitossimulaattoria on tarkoitus myös operoida Pohton Tampereen toimipisteestä. Verkon yli tapahtuva liikennöinti voidaan toteuttaa VNC:n, RDP:n tai VPN:n välityksellä. VNC on protokolla tietokoneen graafisen käyttöliittymän etäkäyttöön. VNC:tä voidaan käyttää graafisen työpöydän esittämiseen verkon yli toiselle työpöydälle. Tämän vuoksi etäpisteellä tarvitaan VNC-palvelin ja toiseen päähän pääteohjelma. (Wikipedia. 2012, hakusana VNC.) RDP eli Remote Desktop Protocol, jonka on kehittänyt Microsoft, on toinen tapa toteuttaa etäyhteys. Käyttäjällä on oltava RDP-asiakassovellus ja toisessa tietokoneessa on oltava RDP-tarjoavasovellus. (Wikipedia. 2012, hakusana RDP.) Kolmas tapa toteuttaa verkon ylitse tapahtuva liikennöinti on VPN eli Virtual Private Network. Virtuaalinen erillisverkko on tapa, jolla kaksi tai useampia yrityksen verkkoja voidaan yhdistää julkisen verkon yli muodostaen näennäisesti yksityisen verkon. (Wikipedia. 2012, hakusana VPN.) Tässä työssä ehdotetaan käytettäväksi RDP-protokollaa, koska se on ollut Metson käytössä.

Toppilan voimalaitossimulaattorin näyttökuvat on tehty GdCAD-työkalulla. Näyttökuvat päivitetään DNAuseEditor-työkalulla. Vanhat kuvat on mahdollista tuoda DNAuseEditor-ohjelmistoon, josta kuvat voidaan päivittää uusiksi sekä tehdä mahdolliset muutokset kuviin.

Simulaattorin tekninen toteutus voidaan tehdä kopioimalla simulaattori sovellus käyttöjärjestelmiin (image) sellaisenaan toiselle koneelle. (Pyykkö 2012.) Näin saadaan muodostettua kaksi toisistaan erillään olevaan voimalaitossimulaattoria, joita on mahdollista operoida omina kokonaisuuksinaan.

Vahvuutena tässä vaihtoehdossa on, että koko prosessi saadaan koulutettua simulaattorilla sekä valitut pääsäädot ovat täydellisiä. Toppilan voimalaitossimulaattorista voidaan ottaa pääsäädot sekä niiden mallinnukset. Operaattorin tekemät operoinnit vaikuttavat myös muualle prosessiin ja näin ollen se vastaa todellista voimalaitosympäristöä. Voimalaitosprosessi on kuitenkin yksinker-

taistettu ja näin ollen helpommin opittavissa, jolloin päästään helpommin päämäärään eli oppimiseen.

Heikkoutena vaihtoehdossa on, että sen hinta saattaa nousta liian suureksi, koska joudutaan tekemään uusia automaatiomoduuleja sekä miettimään ohjelmistoratkaisuja.

## **9.2 Vaihtoehto 2**

Toteutustavassa tehdään ositettu voimalaitosprosessi. Ositusta tehtäessä täytyy miettiä mistä kohtaa prosessi voidaan jakaa eri osa-alueisiin. Voimalaitosprosessi katkaistaessa on tunnettava voimalaitoksen pääkomponentit, jotta vaihtoehdosta saadaan tarkoituksenmukainen. Alla on esitelty voimalaitosprosessin ositus:

1. syöttövesipiiri
2. höyrypiiri
3. ilmat + savukaasut
4. polttoaineet.

Vaihtoehdon vahvuutena on, että siitä saadaan huomattavasti kevyempi versio kuin Toppilan voimalaitossimulaattori. Käyttäjä voi operoida vain yhtä osa-aluetta kerrallaan ja operoinnin vaikutukset eivät ulotu muihin osiin. Tietylle osa-alueelle syötetään aina kiinteät arvot edelliseltä prosessialueelta. Heikkoutena vaihtoehdossa on, että käyttäjän tekemät operoinnit eivät vaikuta muualle prosessiin, ja näin se ei ole totuudenmukainen oikean voimalaitosympäristön kanssa. Kustannuksiltaan simulaattorin toteutus tulee myös kalliiksi, koska joudutaan muokkaamaan koko simulaattorin sovellusta. Etäyhteys voidaan toteuttaa tässäkin vaihtoehdossa RDP-protokollaa hyödyntäen.

## **9.3 Vaihtoehto 3**

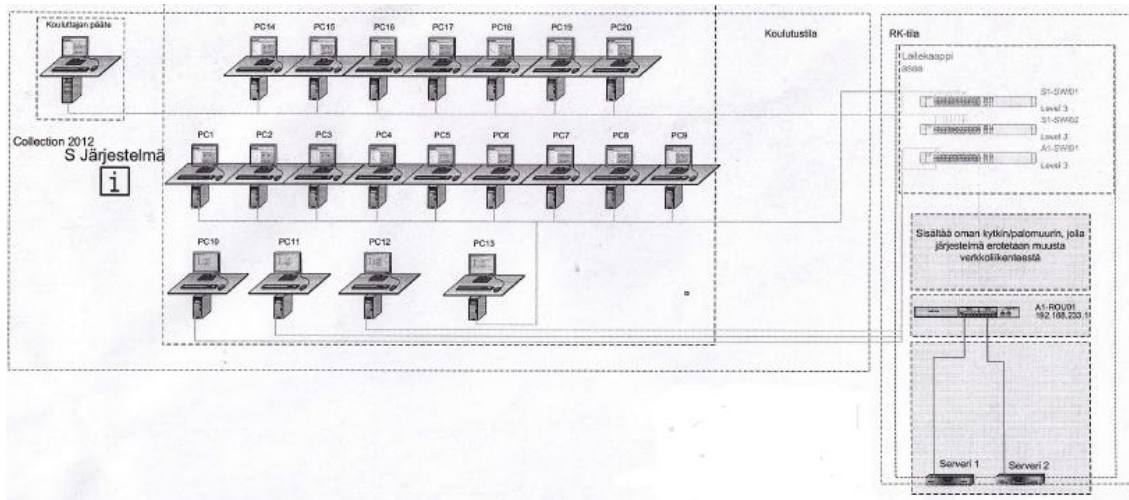
Vaihtoehdossa 3 kopioidaan Toppilan voimalaitossimulaattori täydellisenä Pohtolle. Simulaattori on tällöin kopio ja sisältää samat ominaisuudet kuin Toppilan simulaattori. DCS-sovellus voidaan kopioida suoraan ja näin ollen vaihtoehto on kustannustehokkain loppuratkaisu. Näyttökuvat päivitetään uusiksi DNAuseEditor-työkalulla. Vaihtoehto sisältää kaksi serveriä eli palvelinta, joilla

saadaan toteutettua kaksi erillistä voimalaitosyksikköä. Yhdellä voimalaitoksella voi olla 10 yhtäaikaista käyttäjää, simulaattorit sisältävät valvomotoiminnallisuuden voimalaitosympäristöön. Kahdella serverillä saadaan näin ollen 20 eri käyttäjälle mahdollisuus operoida voimalaitosta. Opettajan koneelta on mahdollista tehdä häiriöharjoituksia prosessiin, missä mitataan oppilaan kykyä reagoida muuttuviin tilanteisiin (liite 3).

Simulaattorilla on mahdollista harjoitella normaalit operoinnit, kuten mittausten, säätöjen, toimilaitteiden ja sekvenssien operoinnit. Prosessin dynamiikan mallinnus perustuu ensimmäisen asteen siirtofunktioiden ja viiveen käyttöön. Prosessisuureen muutos tasapainotilasta on seurausta siihen vaikuttavien suureiden muutoksesta. Simulaattorijärjestelmän käynnistys ja pysäytys tai jäädytys tapahtuu kouluttajan operointinäytöiltä. Järjestelmään on tallennettu 5 kpl tasapainotiloja, joista simulointi on mahdollista aloittaa. Tilanteet ovat seuraavat:

1. kaikki voimalaitoksen laitteet seis
2. käynnistyspolttimet päällä – tasainen ajo, turbiini ei käytössä
3. kuormapolttimet päällä – tasainen ajo, turbiini ei käytössä
4. turpeen ajo päällä – tasainen ajo, turbiini ei käytössä
5. turpeen ajo päällä – teho 100 %, turbiini käytössä – teho 100 %.

Kuvassa 21 on esitelty järjestelmäkaavio toteutustavasta, jossa Toppilan simulaattori on kopioitu Pohtolle. Järjestelmäkaavio sisältää yhteensä 20 kpl oppilaan operointiasemia sekä kouluttajan päätteen. Päätteet on sijoitettu koulutustilaan ja serverit ristikyt kentätilaan. Serverit yhdistetään kytkimen kautta palomuriin. (Mehtomaa 2012.)



KUVA 21. Järjestelmäkaavio (Mehtomaa 2012)

Toteutustavan vahvuutena on, että simulaattorista saadaan kattava ja laaja-alainen kokonaisuus voimalaitosprosessista. Simulaattorin teko tulee kustannuksiltaan edullisimmaksi, koska DCS-sovellus voidaan kopioida suoraan Pohton käyttöön. Toppilan voimalaitossimulaattori on laajuutensa perusteella tarkoitettu voimalaitoksen käyttöhenkilökunnan kouluttamiseen. Simulaattorin ollessa näin laaja ja totuudenmukainen täytyy käyttäjän olla perehtynyt voimalaitostekniikkaan. Pohton vaatimuksena oli saada kaukolämpöverkko toteutettavaan simulaattoriin, mutta tässä toteutustavassa se ei ole mahdollista, koska se puuttuu Toppilan simulaattorin laajuudesta. Kaiken kaikkiaan vaihtoehto on nopein toteuttaa ja varmasti varteenotettava, kun mietitään lopullista hankintapäätöstä.

Kustannustehokkaimmaksi vaihtoehdoksi osoittautui vaihtoehto 3, jossa Toppilan voimalaitossimulaattori kopioidaan suoraan Pohtolle. Hankittaessa simulaattoria koulutuskäyttöön toteutustavan valinnassa on kiinnitettävä huomioitava sen käytettävyyteen sekä tarkoituksenmukaisuuteen, eikä pelkästään kustannuksiin.

Lopullisen päätöksen hankinnasta tekevät Pohto ja Metso. Yllä olevien vertailujen pohjalta toteutustavaksi ehdotan mallia, jossa tehdään yksinkertainen malli voimalaitoksesta ja sisällytetään vain pääsäädot. Vaikka se kustannuksiltaan tulee kalliimmaksi kuin esimerkiksi vaihtoehto 3, on se käyttötarkoitukseltaan kaikkein sopivin oppilaskäyttöön. Simulaattorista saadaan kevyempi versio ja näin ollen se on joustava käyttäjälleen. Vaihtoehdossa toteutuvat kaikki Pohton antamat vaatimukset, mikä myös puoltaa valintaa.

## 9.4 Hankintaan liittyvät ongelmat ja riskit

Ostajan ja toimittajan yhteistyön toimivuutta voi vaikeuttaa toimittajan käyttämä ammattikieli. Toimittajan on syytä asettua ostajan asemaan, jotta osapuolet ymmärtävät toisiaan ja väärinkäsityksiltä vältytään. Toimittajan on syytä paneutua ostajan organisaatioon ja taustoihin hankkeessa. Osapuolten on käytävä vuoropuhelua koko hankkeen aikana ja keskusteltava eteen tulevista epäkohdista. Esiselvitys on hyvä työväline tässä ongelmassa, sillä se selventää osapuolille heidän tavoitteensa ja tarpeensa.

Toimittajan vastuulla on toteuttaa tuote sovittuun aikatauluun mennessä. Aikataulun myöhästyminen tai epärealistiseksi suunniteltu aikataulu ei palvele kumpaakaan osapuolta. Riskinä hankkeessa voi olla, että esiselvitys valmistuu liian myöhään ja siitä ei saada hyötyä hankkeeseen.

Ongelmana simulaattorin käytössä voi olla, että siitä ei saada tarpeeksi irti vähäisen tietämyksen vuoksi. Simulaattorin käyttö voi olla vaikeaa tai jopa mahdotonta. Simulaattorin toimittajan on tehtävä määrittely kyseisestä toimituksesta, jossa tulevat esiin simulaattorin toiminta, prosessimallien laajuus sekä automaation toteutus. Käyttöön liittyvissä asioissa on mahdollista tehdä yhteistyötä Toppilan voimalaitossimulaattorin käyttäjien kanssa.

Toteutusvaihtoehtojen vertailussa suurimmat eroavaisuudet tulevat esille lopullisessa hinnassa. Vaikka tietty vaihtoehto sopisi paremmin Pohton vaatimuksia silmälläpitäen, taloudellisin tapa toteuttaa simulaattori on toinen vaihtoehto. Riskinä tässä edullisimmassa toteutustavassa on sen sopivuus koulutuskäyttöön eli palveleeko se asiakasta parhaalla mahdollisella tavalla.

## 10 POHDINTA

Hankittaessa uutta voimalaitossimulaattoria on mietittävä, mihin tarkoitukseen simulaattoria ollaan hankkimassa. Koulutuskäyttöön simulaattori voi olla yksinkertaistettu kopio oikeasta prosessista. Voimalaitokselle hankittu simulaattori tulee olla täydellinen kopio tehtaan omasta prosessista, jolloin se palvelee parhaiten käyttäjää. Tällöin koko simulaattoriprosessi on todenmukainen ja oppiminen voidaan kohdentaa kaikkiin osa-alueisiin. Samalla tosin simulaattori on yleensä toteutustavaltaan raskas.

Tavoitteeksi opinnäytetyölleni asetettiin löytää paras ratkaisu toteuttaa voimalaitossimulaattori koulutuskäyttöön tilaajan vaatimuksia ajatellen. Tilaajan vaatimukset täyttyivät ehdottamassani toteutustavassa ja simulaattorista on mahdollista saada kevyempi toimintatavaltaan. Esiselvitys voimalaitossimulaattorin toteuttamisesta antaa hankinnasta päättävälle henkilölle edellytykset valita kolmesta vaihtoehdosta sopiva ratkaisu Pohtolle. Parhaimmiksi ratkaisuksi on esitelty kolme eri vaihtoehtoa, jolla hanke voidaan toteuttaa. Pohton vaatimukset ovat opinnäytetyön teon aikana muuttuneet ja sen vuoksi työ on ollut haastava. Hanke niin sanotusti eli koko vaiheen aikana, ja tällöin on pystyttävä joustamaan ja etsimään uusia toteutustapoja.

Hankittaessa uutta simulaattoria näin laajaan voimalaitosprosessiin on hyvä käyttää valmista DCS-sovellusta hyödyksi. Automaatiosuunnittelussa yleensäkin käytetään valmiita automaatiomoduleja ja niitä muokataan kulloiseenkin tarpeeseen sopivaksi. Alusta asti tehty simulaattori tulee kustannuksiltaan todella kalliiksi, mikä on monelle simulaattorin hankkivalle yritykselle se ainoa este.

Täydelliset voimalaitossimulaattorit, jotka kuvaavat täsmällisesti oikeaa voimalaitosprosessia, ovat käytöltään usein raskaita. Tähän vaikuttavat, että virtuaaliset suunnitteluasemat ja operointiasemat on ahdettu muutamaan tietokoneeseen, minkä vuoksi niiden kapasiteetti ei riitä sujuvaan käyttöön. Simulaattoria voisi keventää harventamalla suoritusväliä esimerkiksi säädöissä, lukituksissa sekä moottoreissa. Metso DNA -työkalulla on varsin vaivatonta etsiä juuri ne automaatiomodulit, jotka käyttävät tiettyä suoritusväliä. Haittana suoritusvälin kasvattamisesta olisivat pienet viiveet, jotka näkyisivät simulaattorin käytössä.

Alussa Pohton vaatimuksena oli saada 20 kappaletta erillisiä voimalaitossimulaattoriympäristöjä. Toteutustavaltaan tämä olisi ollut liian raskas ja näin ollen päädyttiin kahteen erilliseen voimalaitossimulaattoriin sekä opettajan koneeseen. Tämä on huomattavasti edullisempi toteutustapa ja



varmasti palvelee saman asian. Yksittäinen voimalaitossimulaattori voidaan jakaa useammalle näytölle, kuten myös oikeassa voimalaitosvalvomossa. Näin ollen päästään seuraamaan yhtä aikaa prosessia useamman henkilön kanssa ja saadaan riittävästi informaatiota prosessin kuluista.

Hyödyntämällä Toppilan voimalaitossimulaattorin sovellusta päästään kustannustehokkaaseen ratkaisuun. Lisäksi Pohton vaatimukset täyttyvät, koska voimalaitostyyppi on heidän haluamansa kaltainen. Toppilan simulaattorista voidaan tehdä yksinkertaistettu malli, ja sisällyttää vain pääsäädot. Näin ollen koko simulaattorista saadaan kevyempi ja koulutuskäyttöön sopiva. Simulaattorilla on kuitenkin mahdollista harjoitella pääprosesseja ja niiden säädot on toteutettu täydellisinä.

Opinnäytetyöni tuloksia ja malliratkaisuja voidaan käyttää suunniteltaessa voimalaitossimulaattorin hankintaa. Tämä tulee nopeuttamaan hankintaa ja selventämään kummallekin osapuolelle vaatimukset sekä rajapinnat, kuinka hanke toteutetaan. Opinnäytetyötä voidaan pitää onnistuneen, jos esittämäni toteutusvaihtoehtoa käytetään hyväksi loppuratkaisussa. Lopullisen päätöksen hankinnasta tekee kuitenkin työn tilaaja ja toteutuksen työn toimittaja budjetin sallimissa rajoissa.

Voimalaitossimulaattorin teknisen kartoituksen lisäksi työssä tehtiin katsaus energiatuotantoon Suomessa sekä selvitettiin yleisesti voimalaitoksen toimintaa. Työssä perehdyttiin myös simulaattorioppimiseen ja sen hyötyihin eri osapuolille. Simulaatio-oppimisesta voidaan todeta, että se on hyvä tapa kouluttaa uusia operaattoreita. Koulutus ei rajoitu pelkästään operaattoreihin, vaan simulaattorilla voi kouluttaa voimalaitoksella työskenteleviä henkilöitä, kuten kunnossapitohenkilöstöä.

Mielestäni voimalaitossimulaattorin kehittämisen ja ylläpitämisen tärkein lähtökohta olisi saada riittävät resurssit kohdennettua voimalaitossimulaattorin ylläpitämiseen. Simulaattorin ylläpitäminen vaatii tehtävään yhden henkilön kokopäiväisesti. Tämän henkilön vastuualueisiin kuuluisi voimalaitossimulaattorin kehittäminen sekä muun henkilökunnan opastaminen sekä ohjeistaminen simulaattorin käyttöön ja mahdollisiin ongelmatilanteisiin. Pohton voimalaitossimulaattorissa tullaan käyttämään hyväksi Toppilan simulaattoria ja näin ollen kehitys- sekä käyttöasioissa on mahdollista saada Toppilan operaattoreiden apua.

Koulutusohjelmissa simulaattorikoulutus jää usein irralliseksi osakokonaisuudeksi ja käyttöaste jää vähäiseksi. Olisi tärkeää saada sovitettua simulaattorikoulutus osaksi opintokokonaisuutta.

Kouluttavan organisaation tulisi pitää vuorovaikutusta alan teollisuusyrityksiin, jotta työelämäläh- töisyys säilyisi opetuksessa. Pohtolle suunnitellaan hankittavaksi kaksi erillistä voimalaitossimu- laattoria. Yhdellä simulaattorilla tulisi työskennellä kolme käyttäjää. Simulaattorit ovat toisistaan eri kokonaisuuksia ja näin ollen itsenäisiä laitoksia. Pohton voimalaitoksen käyttäjän ammattitut- kinnossa käyttäjältä vaaditaan itsenäistä ja ryhmätyöskentelyn edellyttämää ammattitaitoa. Poh- tolle hankittavat kaksi erillistä voimalaitossimulaattoria toteuttavat tutkinnon vaatimukset. Simu- laattorilla on mahdollista harjoitella itsenäisesti, mutta parhaiten se soveltuu ryhmätyöskentelyyn. Ryhmän on mahdollista operoida eri osaprosesseja ja näin ollen kehittää ryhmässä työskentelyn taitoja.

Yhtenä haasteena on saada koulutusorganisaation kaikki tasot ymmärtämään simulaattorikoulu- tuksen hyödyt ja vaikutukset tulevaisuuden osaajien koulutuksessa. Voimalaitossimulaattori on vetonaula haettaessa uusia koulutettavia. Simulaattorin käyttöaste on saatava suureksi, jotta siitä saadaan paras mahdollinen hyöty. Ennen simulaattoriharjoituksia käyttäjän on ymmärrettävä voimalaitoksen toimintaa teoriassa. Teoriaopinnot on sisällytettävä koulutukseen ennen kuin aloi- tetaan simulaattoriharjoitukset käytännössä. Opinnäytetyön tulokset simulaattorikoulutuksen hyö- dyistä kannustavat laajamittaiseen keskusteluun ja toimiin simulaatiokoulutuksen lisäämiseksi eri opintoasteilla.

Tärkeää on myös kouluttajien osaamisen kartuttaminen sekä kouluttajien määrän kasvattaminen. Simulaattoreita hankittaessa tulee huomioida ja ymmärtää käyttötarkoitus sekä ohjelmalliset rat- kaisut nykyistä paremmin. Tällä tavoin päästään parhaimpiin oppimistuloksiin ja simulaattorista saataviin hyötyihin. Opetuksen tärkeimpänä uudistuksena voidaan pitää opettajaa itseään, hänen ammatillista ajatteluaan ja toimintaansa. Tavoitteena tulisi olla ennen kaikkea ammattitaitoisen ja osaavan voimalaitoshenkilökunnan kouluttaminen. Koulutettujen operaattoreiden osaaminen on ennen kaikkea Suomen energiateollisuuden etu, sillä uudet työntekijät voivat tulla entistä val- miimpina uuteen työpaikkaan.

Nykypäivän voimalaitoksissa automaation kehitys on kulkenut hieman jäljessä uusista kehitysas- teista. Voimalaitoksilla on luotettu vanhaan ja hyväksi koettuun tekniikkaan. Voimalaitoksilla ta- pahtuvat vikaantumiset ja toimintavirheet aiheuttavat suuria rahallisia menetyksiä tai jopa henki- lövahinkoja. Voimalaitoksen käyttöhenkilökunnalla tärkeä tehtävä on pitää tuotanto turvallisena sekä toimintavarmana. Oikeaoppinen kouluttaminen sekä turvalliset työskentelytavat vähentävät onnettomuusriskejä.

Voimalaitossimulaattorin jatkokehittelyä ajatellen laitteistoa voidaan käyttää testiympäristönä ulkopuolelta tulevien tietoturvahyökkäysten seurantaan. Pohton Predykot-hankkeessa on tarkoitus, että ulkopuolinen käyttäjä pyrkii aiheuttamaan hyökkäyksen järjestelmään. Tällä tavoin pystytään seuraamaan mahdollisia tietoturvaongelmia, joita voisi tapahtua myös oikeassa käyvässä voimalaitoksessa. Tietomurron tai hyökkäyksen takana on aina, suoraan tai epäsuorasti, ihminen tai joukko ihmisiä. Samalla voidaan todeta, että tietoturvahyökkäyksen alkuperän paikantaminen voi olla vaikeaa tai mahdotonta. Tietoturvaongelmat koskettavat myös teollisuusautomaatiota, koska automaatio on verkottunut osaksi yhteiskunnan järjestelmiä. Monet järjestelmät ovat myös ihmiskunnan kannalta kriittisiä, kuten sähkön ja lämmön jakelu. Tietoturvaongelmia ja niiden ratkaisuja onkin hyvä harjoitella simulaattorin välityksellä.

Opinnäytetyön aihe kokonaisuudessaan osoittautui sopivan haastavaksi toteuttaa. Tietämystä tuli lisää voimalaitosten toiminnasta ja niiden rakenteesta. Työssäni opin myös keräämään yhteen aineistoa eri lähteistä ja analysoimaan sitä. Voimalaitossimulaattoreiden rakenne, mallinnus sekä käyttö tulivat myös tutuiksi ja oppimillani tiedoilla kykenen tarvittaessa opettamaan muillekin asiasta lisää.

## LÄHTEET

Henttu, Markku 2012. Tuotepäällikkö, Metso. Haastattelu 9.11.2012.

Huhtinen, Markku – Korhonen, Risto – Pimiä Tuomo – Urpalainen, Samu 2011. Voimalaitostekniikka. Tampere: Juvenes Print.

Höyryturbiinin perusteet 2012. KnowEnergy. Saatavissa: [http://www.knowenergy.net/suomi/monipolttt\\_kattilat/10\\_turbiini/frame.htm](http://www.knowenergy.net/suomi/monipolttt_kattilat/10_turbiini/frame.htm). Hakupäivä 8.10.2012.

Joronen, Tero – Kovács, Jenó – Majanne, Yrjö 2007. Voimalaitosautomaatio. Helsinki: Copy-set Oy.

Kaivosoja, Jyri – Haapa-aho, Jonne 2012. Fortum Naantali Voimalaitoksen Koulutussimulaattori, Osa 2. Kouluttajat.

Kattilahyötysuhteen määrittäminen ja häviöt 2012. Knowenergy. Saatavissa: [http://www.knowenergy.net/suomi/monipolttt\\_kattilat/8\\_haviot/fr\\_text.htm](http://www.knowenergy.net/suomi/monipolttt_kattilat/8_haviot/fr_text.htm). Hakupäivä 13.11.2012.

Koskinen, Hanna – Salo, Leena – Aaltonen Iina toim. VTT tiedotteita 2495 – Tilannetietoisuutta tukevat näytöt prosessiteollisuuden valvomoissa. VTT 2009.

Lohiniva, Laura 2012. Voimalaitosautomaatio. Voimalaitosautomaation kurssimateriaali keväällä 2012. Oulu: Oulun yliopisto.

Mehtomaa, Kimmo 2012. Asiakaspalvelupäällikkö, Metso. Haastattelu 5.12.2012.

Määräykset ja ohjeet: Näyttötutkinnon perusteet Voimalaitoksen käyttäjän ammattitutkinto 2012 määräys 16/011/2012. Opetushallitus.

Palokangas, Kari 2012. vs: Kysely voimalaitossimulaattorista oppilaitoskäyttöön. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja kimmo.mehtomaa@metso.com 5.4.2012.

Palokangas, Kari 2012. VS: Opinnäytetyö- Esiselvitys voimalaitossimulaattorin hankinnasta Pohdolle. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja pekka.rajaniemi@hotmail.com 14.11.2012.

Palokangas, Kari 2012. Kehittämispäällikkö, Pohto. Haastattelu 24.10.2012.

POHTO. 2012. Kehittämispalvelut 2012. Oulu: Kalevaprint.

Pyykkö, Jukka 2012. VS: Voimalaitossimulaattori. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja pekka.rajaniemi@hotmail.com 15.11.2012.

Resurssit ja kustannukset 2012. Helsingin Yliopisto. Saatavissa: <http://www.ling.helsinki.fi/kit/2006k/clt310pro/suunnittelu/resurssit.shtml>. Hakupäivä 14.11.2012.

Rintala, Raimo 2012. Oulun Energia. Haastattelu 15.11.2012.

Räsänen, Seppo 2004. Verkko-opetuksen tietotekniikka – Simulaatio opetuksessa. Raportti B/2004/3. Saatavissa: <http://www.cs.uku.fi/tutkimus/publications/reports/B-2004-3.pdf>. Hakupäivä 9.10.2012.

Salakari, Hannu 2010. Simulaattorikouluttajan käsikirja. Helsinki: Hakapaino OY.

Sanastoa. 2012. Hiilitieto. Saatavissa: <http://www.hiilitieto.fi/fi-FI/sanastoa/>. Hakupäivä 9.10.2012.

Sekvenssiohjelmointi. 2012. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <http://www.oamk.fi/~timohei/?p=20opintojaksot/10TL6021/06sekvenssi>. Hakupäivä 23.11.2012.

Sillanpää, Elina 2006. Metso Automation. Oulun Energia Toppila 2 simulaattori Rev. 0.

Sähköntuotanto. 2012. Energiateollisuus. Saatavissa: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/sahkontuotanto>. Hakupäivä 4.10.2012.

Toppilan voimalaitokset. 2012. Oulun Energia. Saatavissa:  
[http://www.oulunenergia.fi/energiatuotanto/toppilan\\_voimalaitokset](http://www.oulunenergia.fi/energiatuotanto/toppilan_voimalaitokset). Hakupäivä  
14.11.2012.

TT Automaatio. 2000. Saatavissa: [http://webd.savonia-amk.fi/projektit/moodlepublic/tewa/KnowPap\\_3\\_englanti/suomi/automation/5\\_automation\\_system/damatic/11\\_architecture/fr\\_text.htm#Operointiasemat](http://webd.savonia-amk.fi/projektit/moodlepublic/tewa/KnowPap_3_englanti/suomi/automation/5_automation_system/damatic/11_architecture/fr_text.htm#Operointiasemat). Hakupäivä 5.10.2012.

VTT Automaatio. 2000. Saatavissa: [http://webd.savonia-amk.fi/projektit/moodlepublic/tewa/KnowPap\\_3\\_englanti/suomi/automation/5\\_automation\\_system/damatic/1\\_operointi/fr\\_text.htm#32](http://webd.savonia-amk.fi/projektit/moodlepublic/tewa/KnowPap_3_englanti/suomi/automation/5_automation_system/damatic/1_operointi/fr_text.htm#32). Hakupäivä 9.10.2012.

Wikipedia. 2012. Vapaa tietosanakirja. Saatavissa:  
<http://fi.wikipedia.org/wiki/VNC>. Hakupäivä 26.11.2012.

Wikipedia. 2012. Vapaa tietosanakirja. Saatavissa:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Remote\\_Desktop\\_Protocol](http://en.wikipedia.org/wiki/Remote_Desktop_Protocol). Hakupäivä 26.11.2012.

Wikipedia. 2012. Vapaa tietosanakirja. Saatavissa:  
<http://fi.wikipedia.org/wiki/VPN>. Hakupäivä 26.11.2012.

Ylikunnari, Jukka 2003. Oppimateriaali kurssiin Automaatiojärjestelmät. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Saatavissa:  
<http://www.tekniikka.oamk.fi/~timohei/TL603Z/aineisto/automaatiojarjestelmat.pdf>. Hakupäivä 19.9.2012.

## MetsoDNA simulaattorin suunnittelua

Tarvittavat näkymät:

### 2.1 Kattila

#### 2.1.1 Ilma ja savukaasu

#### 2.1.2 Öljy

#### 2.1.3 Turve

#### 2.1.4 Pääsäättö

#### 2.1.5 Kattilasuoja

### 2.2 Syve – höyry

#### 2.2.3 Omakäyttöhöyry

### 2.3 Turbiini ja generaattori

#### 2.3.1 Turbiinin mittaukset

#### 2.3.3 Turbiinin voiteluöljy

#### 2.3.9 Turbiinisuoja

### 2.4 Lauhde- ja syvesäiliö

#### 2.4.1 Päälauhde

#### 2.4.2 KL-lauhde

#### 2.4.3 MP-esilämmitin

### 2.5 KL- blokki2

### 2.6 Jäähdytysvesi

### 4.2 TOP2 sähkö

#### 4.2.1.1 TOP 2 tahdistus

### 6.3 Näytteenotto/ kemikaali

### 7.1 Lauhdutin

### 7.3 Käänteisosmoosi

Erikseen määritetyt häiriöt:

1. Savukaasupuhallin pysähtyy
2. Sulkusyöttimen pysähdys
3. Turvelinjan pysähtyminen
4. Porkkanan tukosvahti
5. Kaukolämmön paluupumpun pysähtyminen
6. Pääjäähdytysvesipumpun pysähtyminen
7. Syvepumpun pysähdys



### 1. Savukaasupuhallin pysähtyy

- Käynnissä olevan puhaltimen tehon nosto käsin
- Mahdollisesti tehon pudotus
- Palamisilman optimointi

### 2. Sulkusyöttimen pysähdys

- Linjatasapainotus
- Ryöstöruuvit maksimiteholle
- Mahdollinen tehon pudotus
- Palamisilman jakautuminen

### 3. Turvelinjan pysähtyminen

- Turbiinin säätö etupaineelle
  - Tehonseuranta
  - KP-pesä pysyy päällä (säätö-öljynpaine >18 bar)
- Päälle jäänyt turvelinja ei liian isolla
- Palamisilman optimointi
- Öljynpolton aloitus
- Vaikutus kaukolämpöön

### 4. Porkkanan tukosvahti

- Porkkana pysähtyy
- Käynnistys tukosvahdin poistuttua ja porkkanalle riittävästi kierroksia
- Tukosvahdin jäädessä päälle
  - Linjatasapainotus
  - Kattilanpaineen seuranta
  - Palamisilman seuranta
  - Tehon pudotus
  - Mahdollinen öljypoltto

### 5. Kaukolämmön paluupumpun pysähtyminen

- Varmista kaukolämpökierto lisäämällä käsin kierroksia kaukolämmön menopuolelle
- Staattisen paineen nosto varmistaa imupaineen riittävyyden
- Mahdollinen tehonpudotus
- Kaukolämpötehon turvaaminen lisälämmöllä (erillistuotanto)

#### 6. Pääjäähdytysvesipumpun pysähtyminen

- Toinen pumppu pienempi
- Tehon pudotus
- Turbiini vastapaineajolle (Blende kiinni 0%)

#### 7. Syvepumpun vaihto

- Käynnistys sekvenssillä
- Kun pumput tasajuoksulla, pysäytettävä pumppu käsiajolle ja säätää reilusti pienemmälle, jotta takaisku sulkeutuu ja kuormitus siirtyy kokonaan käynnistetylle pumpulle.
- Syöttöveden ja tuorehöyryn virtauksen seuranta ja tarvittaessa käsin tasaaminen syvesäätöventtiilillä tai syvepumpulla.